



**TUGAS AKHIR - RM184831**

# **ANALISIS HUBUNGAN DEFORMASI DI JAWA TIMUR BAGIAN SELATAN DENGAN AKTIVITAS ZONA SUBDUKSI *JAVA TRENCH* MENGGUNAKAN DATA GPS CORS TAHUN 2015-2018**

**EMMA VIO NISA BARUNAWATI  
03311544000044**

**Dosen Pembimbing  
Ira Mutiara Anjasmara., S.T, M.Phil, Ph.D  
Dr. Ir. Muhammad Taufik**

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019**





**TUGAS AKHIR - RM184831**

**ANALISIS HUBUNGAN DEFORMASI DI JAWA  
TIMUR BAGIAN SELATAN DENGAN AKTIITAS  
ZONA SUBDUKSI *JAVA TRENCH* MENGGUNAKAN  
DATA GPS CORS TAHUN 2015-2018**

**EMMA VIO NISA BARUNAWATI**  
**NRP 03311540000044**

**Dosen Pembimbing**  
**Ira Mutiara Anjasmara S.T, M.Phil, Ph.D.**  
**Dr. Ir. Muhammad Taufik**

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA**  
**Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2019**

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



FINAL PROJECT - RM184831

***ASSESMENT FOR THE RELATION BETWEEN  
SOUTHERN EAST JAVA'S DEFORMATION AND  
JAVA TRENCH SUBDUCTION ZONE ACTIVITY  
USING GPS-CORS DATA FROM 2015 TO 2018***

EMMA VIO NISA BARUNAWATI  
NRP 0331154000044

*Supervisors:*

Ira Mutiara Anjasmara S.T, M.Phil, Ph.D.  
Dr. Ir. Muhammad Taufik

***GEOMATICS ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019***

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

**ANALISIS HUBUNGAN DEFORMASI DI JAWA TIMUR  
BAGIAN SELATAN DENGAN AKTIVITAS ZONA  
SUBDUKSI JAVA TRENCH MENGGUNAKAN DATA GPS  
CORS TAHUN 2015-2018**

**Nama Mahasiswa** : Emma Vio Nisa Barunawati  
**NRP** : 03311540000044  
**Departemen** : Teknik Geomatika FTLSK – ITS  
**Dosen Pembimbing** : 1. I.M. Anjasmara S.T, M.Phil, Ph.D  
2. Dr. Ir. Muhammad Taufik

**ABSTRAK**

Indonesia merupakan bagian dari *Ring of fire* karena letaknya Indonesia yang berada pada wilayah pertemuan lempeng-lempeng yang bergerak aktif. Di wilayah Indonesia, lempeng Indo-Australia yang merupakan lempeng samudera bergerak aktif ke utara dengan kecepatan 7cm/tahun menujam sisi bawah Lempeng Tektonik Eurasia yang relatif diam, menyebabkan terbentuknya zona subduksi di wilayah selatan Pulau Jawa. Wilayah di sekitar zona subduksi ini mengalami aktivitas tektonik antara lain gempa bumi. Dalam periode waktu 2015 hingga 2018 sedikitnya terjadi 194 gempa dengan rentang kekuatan 4-6 Mw mengguncang wilayah zona subduksi di Jawa Timur bagian selatan, yang dapat menyebabkan terjadinya deformasi pada pulau Jawa. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung besarnya deformasi yang terjadi di Jawa Timur bagian selatan menggunakan data stasiun Ina-CORS. Hasil yang didapatkan dalam penelitian ini berupa vektor dan kecepatan pergeseran stasiun dalam kurun waktu 2015 – 2018. Dari hasil yang di dapatkan, sebelas stasiun yang diamatai seluruhnya bergerak ke arah tenggara dikarenakan pengaruh dari gerak Lempeng Eurasia lebih memengaruhi titik-titik penelitian daripada gerak lempeng Indo-Australia yang bergerak ke arah utara. Rentang kecepatan horizontal dari stasiun yang diamati adalah 26.58 mm/thn sampai dengan 29.28 mm/tahun sedangkan kecepatan vertikal memiliki rentang nilai kecepatan -8.17

mm/tahun hingga -4.28 mm/tahun. Perhitungan regangan dalam penelitian ini menggunakan metode *delunay triangle* yang menghasilkan nilai ekstensi dan kompresi yang bervariasi dalam setiap segmen segitiga. Segmen yang mengalami ekstensi paling besar adalah CPAS-CJEM-CPAI senilai -0.90  $\mu$  strain dan segmen yang mengalami kompresi paling besar adalah CMLG-CPAS-CLUM dengan nilai 0.34  $\mu$ strain.

***Kata Kunci : Deformasi, Zona Subduksi, Jawa Timur Bagian Selatan, GPS, vektor pergeseran, regangan***



**ASSESSMENT FOR THE RELATION BETWEEN  
SOUTHERN EAST JAVA'S DEFORMATION AND JAVA  
TRENCH SUBDUCTION ZONE ACTIVITY USING GPS-  
CORS DATA FROM 2015 TO 2018**

**Name** : Emma Vio Nisa Barunawati  
**NRP** : 03311540000044  
**Departement** : Geomatics Engineering FTLSK – ITS  
**Supervisor** : 1. I.M. Anjasmara S.T., M.Phil. Ph.D  
2. Dr. Ir. Muhammad Taufik

**ABSTRACT**

*Indonesia is a part of Ring of fire because it is located in the junction of major active plate tectonics. In Indonesia, the Indo-Australian Plate, which is an oceanic plate, moves to the North direction with the velocity rate of 7cm / year towards the lower side of the relatively silent Eurasian Plate (Continent Plate), forming a subduction zone in the southern of Java. On the subduction zone, tectonic activities can present earthquakes. In the period of 2015 to 2018 at least 194 earthquakes with 4 to 6 SR range of strengths rocked in the southern part of East Java, which can cause deformation on the Java island. This study aims to calculate the deformation that occurred in the southern East Java using Ina-CORS station data. The results obtained in this study are displacement and velocity vectors of the stations in 2015 to 2018. The result showed that eleven stations entirely moved in the southeast directions because the influence of the Eurasian Plate are greater than Indo-Australia plate motion. The horizontal velocities of the observed stations range from 26.58 mm/tahun to 29.28 mm/tahun. While vertical velocities range from -8.17mm/tahun to -4.28 mm/tahun. In this research, Delunay triangle methods is used to calculate the strain which produces extension and compression values that vary in each triangle segment. The segment that experienced the biggest extension was*

*CPAS-CJEM-CPAI worth  $-0.902\mu$  strains and the segment that experienced the biggest compression was CMLG-CPAS-CLUM with a value of  $0.342\mu$ strain.*

***Keywords: Deformation, Southern East Java, GPS***

**ANALISIS HUBUNGAN DEFORMASI DI JAWA TIMUR  
BAGIAN SELATAN DENGAN AKTIVITAS ZONA  
SUBDUKSI *JAVA TRENCH* MENGGUNAKAN DATA GPS  
CORS TAHUN 2015-2018**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada

Program Studi S-1 Teknik Geomatika  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**EMMA VIO NISA BARUNAWATI**  
**NRP. 0331154000000444**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Ira Mutiara Anjasmara ST, M.Phil, P.hD  
NIP. 19781212 200501 2 001

Dr. Ir. Muhammad Taufik  
NIP. 19550919 198603 1 001



**SURABAYA, JULI 2019**

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Hubungan Deformasi di Jawa Timur Bagian Selatan dengan Aktivitas Zona Subduksi *Java Trench* Menggunakan Data GPS-CORS 2015-2018” ini dapat terselesaikan dengan baik.

Selama pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini, banyak pihak yang telah memberikan bantuan dan dorongan secara moral maupun material. Atas segala bantuan dan dukungan tersebut, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua dan seluruh keluarga penulis yang telah memberikan kasih sayang, doa, semangat dan seluruh dukungan baik secara moral maupun material.
2. Bapak Mokhamad Nur Cahyadi, S.T, M.Sc, Ph.D, selaku Ketua Departemen Teknik Geomatika ITS.
3. Ibu Ira Mutiara Anjasmara S.T., M.Phil., Ph.D dan Bapak Dr. Ir. Muhammad Taufik selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan sarannya.
4. Badan Informasi Geospasial (BIG) yang berkenan memberikan data yang digunakan dalam penelitian kali ini.
5. Sidik Tri Wibowo S.T., M.T., dan Yuandhika Galih W., S.T, yang telah banyak membantu dalam proses pengolahan data dalam penelitian ini.
6. Teman-teman Teknik Geomatika angkatan 2015 atas segala dukungan dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
7. Segenap dosen, tenaga kependidikan, serta karyawan Departemen Teknik Geomatika ITS yang telah memberikan banyak ilmu, saran, bantuan, dukungan, serta keramahan selama pelaksanaan penelitian Tugas Akhir di Departemen Teknik Geomatika ITS.

8. Sajidah Salsabi, Safri Yanti Rahayu, Wahyunan Andika, Wafa Zakkiyah, Bramiasto F.E.P, dan seluruh teman angkatan 2015 dan teman laboratorium geodinamika serta seluruh pihak yang telah membantu penulis membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir yang tidak dapat penulis sebut satu persatu.

Penulis berharap laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi pembaca umumnya. Penulis sadar bahwa laporan ini masih banyak kekurangan baik dalam penulisan maupun isi dari laporan ini, oleh karena itu penulis berharap kekurangan dan kesalahan dalam laporan ini dapat dijadikan sebagai pelajaran bagi pembaca.

Akhir kata, penulis menyampaikan terima kasih atas segala kesempatan yang telah diberikan, semoga penelitian ini dapat bermanfaat.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xviii
BAB I .....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	5
1.3. Batasan Masalah .....	5
1.4. Tujuan Tugas Akhir .....	6
1.5. Manfaat Tugas Akhir .....	6
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Tektonik Lempeng .....	7
2.1.1. Batas Pergeseran Lempeng .....	7
2.2 Subduksi.....	8
2.3 Deformasi.....	9
2.3.1. Analisis Pergeseran.....	12
2.3.2. Analisis Regangan .....	12
2.4 GPS .....	13
2.4.1. Penentuan Posisi dengan GPS .....	13
2.4.2. Kesalahan dan Bias GPS .....	15
2.5 Pemantauan Deformasi Dengan GPS .....	18
2.6 INA-CORS BIG.....	19
2.7 IGS ( <i>Internasional GNSS Service</i> ).....	22
2.8 Pengolahan <i>Baseline</i> .....	23
2.8.1. <i>Single Difference</i> .....	23
2.8.2. <i>Double difference</i> .....	24
2.8.3. <i>Triple difference</i> .....	24

2.9	Mencari Kecepatan Vektor Pergeseran .....	24
2.10	GAMIT/GLOBK.....	26
2.11	GMT ( <i>Generic Mapping Tools</i> ) .....	29
2.12	Titik Koordinat Geodesi.....	29
	2.11.1 Sistem Koordinat Geosentrik .....	30
	2.11.2 Sistem Koordinat Toposentrik .....	30
2.13	Uji Hipotesis .....	31
2.14	Penelitian Terdahulu .....	33
<b>BAB III</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>35</b>
3.1	Lokasi Penelitian.....	35
3.2	Data dan Peralatan.....	36
	3.2.1 Data .....	36
	3.2.2 Peralatan.....	38
3.3	Tahapan Penelitian .....	38
	3.3.1. Tahap Pelaksanaan Penelitian.....	38
3.4	Tahapan Pengolahan Data.....	40
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>51</b>
4.1.	Hasil Perhitungan Kecepatan Pergeseran.....	51
4.2.1	Hasil Perhitungan Kecepatan Horizontal .....	52
4.2.2	Hasil Perhitungan Kecepatan Vertikal .....	55
4.2.3	Uji Statistik .....	58
4.2.4	Perhitungan Regangan .....	61
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>71</b>
5.1.	Kesimpulan .....	71
5.2.	Saran .....	73
	<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>74</b>
	<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>79</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Lempeng Tektonik yang Mengelilingi Indonesia.....	2
Gambar 1. 2 Peta Rawan Bencana Gempa Bumi Jawa Timur .....	3
Gambar 1. 3 Gempa Bumi di Area Penelitian Pada Tahun 2017 ..	4
Gambar 2. 1 Zona Subduksi .....	9
Gambar 2. 2 Komponen Tegangan.....	10
Gambar 2. 3 Kompenen Regangan.....	11
Gambar 2.4 Bentuk Rotasi dari Materi .....	12
Gambar 2. 5 Penentuan Posisi Sistem GPS Metode Diferensial ..	15
Gambar 2. 6 Ambiguitas Fase .....	16
Gambar 2. 7 Multipath .....	17
Gambar 2. 8 Bias Ionosferik dan Bias Troposferik .....	17
Gambar 2. 9 <i>Cycle Slip</i> .....	18
Gambar 2. 10 Sebaran Stasiun InaCORS 2018 .....	21
Gambar 2. 11 Kuadran Arah Vektor Pergeseran.....	25
Gambar 2. 12 Sistem Koordinat Geosentrik.....	30
Gambar 2. 13 Sistem Koordinat Toposentrik.....	31
Gambar 3. 1 Lokasi Stasiun CORS yang Diamati .....	35
Gambar 3. 2 lokasi Stasiun IGS .....	37
Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian.....	39
Gambar 3. 4 Diagram Alir Pengolahan Data.....	42
Gambar 3. 5 Struktur Direktori Kerja .....	43
Gambar 3. 6 Data <i>Outliers</i> .....	48
Gambar 4. 1 <i>Time Series</i> Pengamatan Stasiun CBRN .....	51
Gambar 4. 2 <i>Time Series</i> Pengamatan Stasiun CJEM.....	52
Gambar 4. 3 Plot Kecepatan Horizontal dengan GMT .....	55
Gambar 4. 4 Plot Kecepatan Horizontal dengan GMT .....	57
Gambar 4. 5 Segmen Segitiga Titik Pengamatan GPS CORS ....	63
Gambar 4. 6 Plot Regangan Di Area Penelitian .....	66

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Koordinat Stasiun Pengamatan .....	36
Tabel 4.1 Kecepatan Komponen Pergeseraan Titik Pengamatan GPS CORS tahun 2015-2018 .....	53
Tabel 4.2 Kecepatan Titik Pengamatan GPS tahun 2015-2018 ..	54
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Kecepatan Vertikal .....	55
Table 4.4 Uji Statistik T- <i>Student</i> .....	59
Table 4.5 Table Pembagian Segmen Segitiga .....	62
Table 4.6 Nilai Parameter Deformasi Berdasar Segmen Segitiga .....	64
Table 4.7 Nilai <i>Principal Strain</i> Berdasarkan Segmen Segitiga .	65

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Time series</i> .....	79
Lampiran 2. Hasil <i>Plot</i> Vertikal .....	83
Lampiran 3. Hasil <i>Plot</i> Horizontal .....	84
Lampiran 4. Hasil <i>Plot</i> Regangan .....	85
Lampiran 5. <i>Control File</i> GAMIT/GLOBK.....	86
Lampiran 6. Sebaran Gempa di Jawa Timur Tahun 2015- 2018.....	88

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

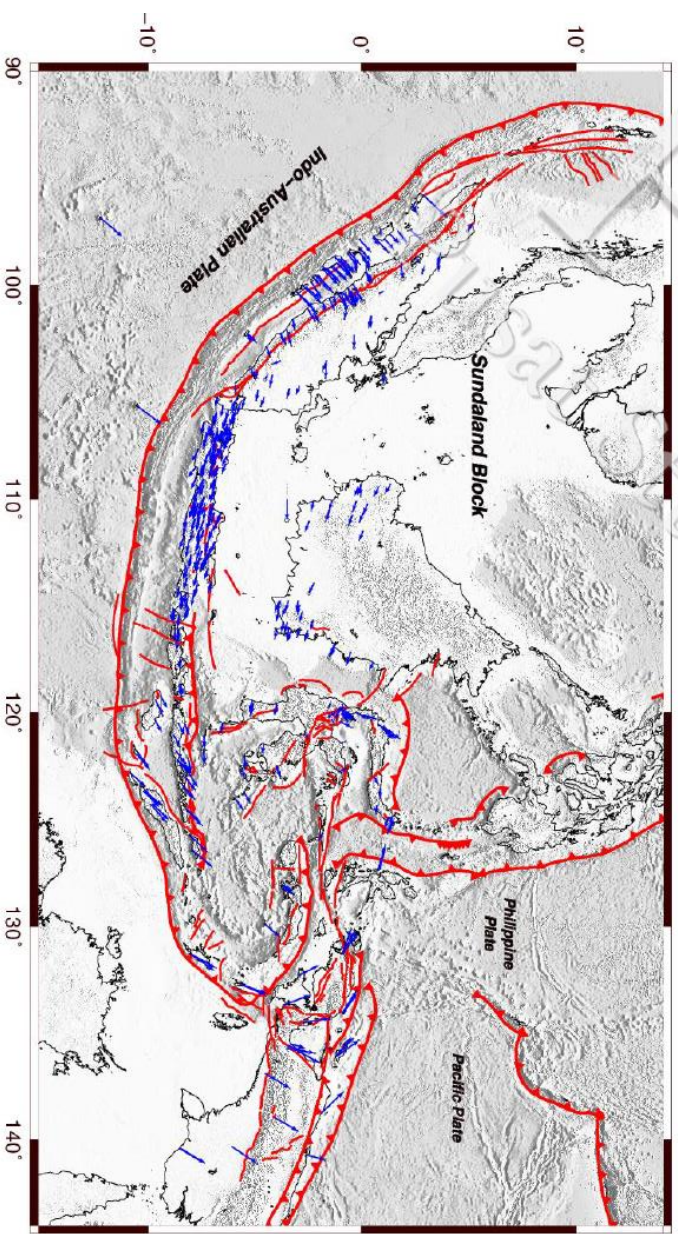
## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Indonesia berada di wilayah pertemuan 4 lempeng yang bergerak aktif yaitu lempeng Indo-Australia, Lempeng Pasifik, Lempeng Filipina, dan Lempeng Eurasia. Lempeng Eurasia bertumbukan dengan Lempeng Indo-Australia dan membentuk Zona Subduksi di daerah selatan Pulau Jawa sehingga tektonik Pulau Jawa terbentuk. Lempeng Indo-Australia bergerak ke arah utara dengan kecepatan 7cm/tahun menujam sisi bawah Lempeng Tektonik Eurasia yang relatif diam. Tujaman tersebut mengakibatkan Indonesia memiliki tingkat kejadian gempa yang tinggi dan terbentuknya gunung api aktif (Hall & Wilson, 2000).

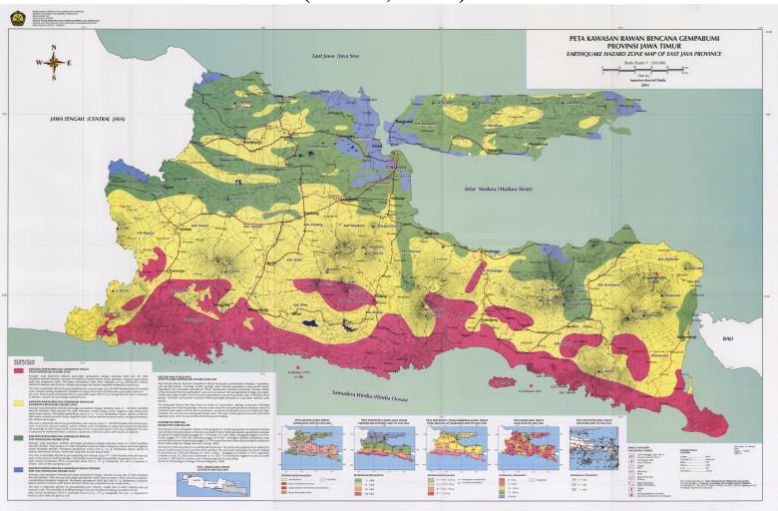
Gambar 1.1 menunjukkan arah pergerakan lempeng yang mengelilingi Indonesia. Terlihat dari arah pergerakan Lempeng Indo-Australia yang bergerak menuju ke arah utara, dan Lempeng Eurasia yang bergerak menuju arah tenggara. Ke dua lempeng tersebut bertemu pada sebuah area yang ditandai dengan garis berwarna merah di sisi selatan Lempeng Eurasia tepatnya berada di sisi selatan Pulau Jawa. Area ini lah yang di sebutkan sebagai zona pertemuan lempeng, atau zona subduksi. Zona subduksi terjadi pada batas konvergen antara dua lempeng yang berbeda kerentanan yang mengakibatkan salah satu lempeng bergerak ke bawah lempeng lainnya dan tenggelam ke arah mantel bumi. Pada zona subduksi Pulau Jawa, Lempeng Eurasia mendesak Lempeng Indo-Australia dan bergerak ke arah bawah. Hal ini terjadi karena Lempeng Eurasia bersifat kaku sedangkan Lempeng Indo-Australia bersifat lentur. Akibatnya, terbentuklah daerah-daerah cekungan (*basin*) serta palung (*trench*) di sekitar zona tersebut antara lain *Java Trench* dan *Java Ridge*. *Java Trench* memiliki kedalaman sekitar 6000 – 7000 meter (Hamilton, 1979).



Gambar 1. 1 Peta Arah Gerak Lempeng di Indonesia  
(Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)



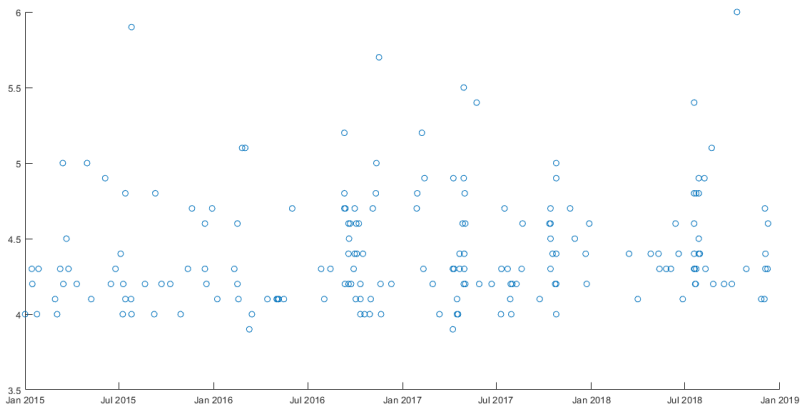
Wilayah Jawa Timur merupakan salah satu daerah di Indonesia yang memiliki banyak gunung api aktif sampai saat ini. subduksi tersebut menjadi menarik untuk dikaji karena turut mempengaruhi aktivitas gunungapi dan potensi bencana alam di daerah tersebut. Deretan gunungapi aktif membentang dari barat ke timur yang merupakan bagian dari cincin api dunia (Keberadaan busur gunungapi aktif tersebut tidak terlepas dari keberadaan sistem subduksi yang terbentuk dari tumbukan lempeng Indo-Australia dan Eurasia. Keberadaan subduksi tersebut selain menyebabkan munculnya busur gunung api juga memicu aktivitas tektonik yang berada di daerah Jawa Timur. Aktivitas tektonik yang sering terjadi adalah gempa tektonik. Kegempaan (seismisitas) pada zona subduksi terjadi akibat gesekan antar lempeng yang memicu pelepasan energi (ESDM, 2015). Menurut data yang terdapat di USGS, terdapat sedikitnya 194 kali gempa bumi skala kecil hingga besar yang terjadi di area sekitar zona subduksi *Java Trench* dalam kurun waktu 2015 – 2018 (USGS, 2019).



Gambar 1. 2 Peta Rawan Bencana Gempa Bumi Jawa Timur (ESDM, 2015)

Identifikasi deformasi yang terjadi akibat aktivitas tektonik ini dapat dilakukan dengan berbagai metode, salah satunya adalah dengan menggunakan metode berbasis GNSS (*Global Navigation Satellite System*). GNSS mentransmisikan sinyal yang berguna untuk aplikasi navigasi dan pemosisian, dimanapun di permukaan bumi. GPS adalah sistem radio-navigasi seluruh dunia terdiri dari sebuah konstelasi 24 satelit dan titik di permukaan yang diluncurkan oleh Amerika Serikat. Untuk mengetahui posisi di permukaan bumi, perlu menggunakan *receiver* GPS. *Receiver* GPS menawarkan penandaan lokasi dengan ketelitian yang cukup baik yaitu milimeter hingga sentimeter (Kurniawan, 2011).

Indonesia memiliki *Continuously Operating Reference Station of Indonesia* (Ina-CORS) yang dibangun oleh Badan Informasi Geospasial yang stasiunnya tersebar di seluruh wilayah Indonesia. Dalam pemanfaatannya, CORS dapat menyediakan data penentuan posisi secara kontinyu selama 24 jam per hari sepanjang tahun dengan mengumpulkan dan merekam data sehingga dapat dimanfaatkan untuk penentuan posisi, baik secara *realtime* ataupun *post processing*.



Gambar 1. 3 Sebaran Gempa Bumi di Area Penelitian (USGS, 2017)

Gambar 1.3 menunjukkan salah satu gempa yang terjadi di pesisir Malang pada tahun 2017. Adanya gempa ini juga merupakan indikasi dari adanya aktivitas zona subduksi *Java Trench*. Aktivitas tersebut juga berpengaruh terhadap deformasi di wilayah terkait. Oleh karena itu diperlukan sebuah penelitian dan kajian yang dapat dimanfaatkan sebagai referensi untuk meminimalisasi dampak deformasi yang diakibatkan oleh gerak aktif dari Zona subduksi ini. Penelitian ini memanfaatkan data dari 11 stasiun Ina-CORS BIG yang berada di Bagian Selatan Jawa Timur, serta menghasilkan data deformasi dalam bentuk kecepatan, vektor pergeseran, serta nilai pergeseran titik yang diamati. Data dari stasiun Ina-CORS tersebut diolah menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK untuk mengetahui posisi, arah, dan besar pergeseran suatu titik pengamatan dari waktu ke waktu.

## 1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah nilai kecepatan pergeseran stasiun pengamatan dalam periode 2015 – 2018?
2. Kemanakah arah pergeseran stasiun pengamatan dalam kurun waktu 2015 – 2018?
3. Bagaimanakah besar regangan deformasi di wilayah Jawa Timur bagian selatan berdasarkan Data CORS BIG dalam kurun waktu 2015 – 2018?

## 1.3. Batasan Masalah

Batasan permasalahan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Data pengamatan GPS format Rinex dari 11 Stasiun CORS wilayah Jawa Timur Bagian Selatan.
2. Titik ikat Global IGS sejumlah 17 stasiun.
3. Proses pengolahan data GPS menggunakan *Scientific Software* GAMIT (*GPS Analysis of Massachusetts Institute of Technology*), Tsview, Velview, dan *plotting* menggunakan GMT (*Generic Mapping Tools*).

#### 1.4. Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kecepatan pergeseran vertikal dan horizontal stasiun GPS CORS yang diamati.
2. Menghitung arah pergeseran stasiun GPS CORS yang diamati.
3. Menghitung besar nilai regangan di wilayah Jawa Timur Bagian Selatan berdasarkan nilai kecepatan Stasiun GPS CORS periode 2015-2018 yang diamati.

#### 1.5. Manfaat Tugas Akhir

Manfaat dari penelitian ini adalah memperoleh informasi deformasi di Jawa Timur bagian Selatan yang disebabkan oleh gerak lempeng aktif zona subduksi. Informasi tersebut selanjutnya dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam mitigasi bencana maupun penelitian lain yang terkait.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tektonik Lempeng**

Pada tahun 1955 Tuzo Wilson yang kemudian diikuti oleh Isacks, Oliver, dan Sykes pada tahun 1968 yang membuat daftar lokasi gempa global terbaru dan menunjukkan bagaimana distribusi lokasi gempa tersebut menggambarkan pergerakan litosfer bumi. Teori tektonik lempeng adalah teori dalam bidang geologi yang dikembangkan untuk memberi penjelasan terhadap adanya bukti-bukti pergerakan skala besar yang dilakukan oleh litosfer bumi. Menurut teori tektonik lempeng, litosfer bumi bukanlah suatu kesatuan yang terus utuh melainkan terpecah pecah menjadi beberapa bagian yang disebut sebagai lempeng (*plate*) bumi (Kearey & Frederick, 1990).

Tektonik Jawa didominasi oleh tunjaman ke utara lempeng Australia dibawah lempeng Sunda yang relatif diam dan diperkirakan kecepatan pergerakannya 6 cm/th dengan arah mendekati normal terhadap palung. Lempeng Australia menunjam dengan kedalaman 100-200 km dibawah pulau Jawa dan 600 km di utara Jawa. Konsekuensi tunjaman lempeng tersebut mengakibatkan kegempaan yang tinggi dan lebih dari 20 gunung api aktif di zona ini (Katili, 1971).

##### **2.1.1. Batas Pergeseran Lempeng**

Adanya pergerakan lempeng tektonik menyebabkan munculnya gejala-gejala alam seperti gempa tektonik, letusan gunung api, dan aktivitas lempeng lainnya. Pergerakan lempeng dikategorikan menjadi 3 jenis, yaitu Divergen, Konvergen, dan Transform (Kearey, 1990).

##### **1. Divergen**

Terjadi apabila terdapat dua atau lebih lempeng tektonik yang bergerak saling menjauhi. Apabila sebuah lempeng tektonik pecah, lapisan litosfer menipis dan terbelah membentuk batas divergen. Pada lempeng samudera akan menyebabkan pemekaran dasar laut, sedangkan apabila

terjadi pada lempeng benua, maka akan menyebabkan terbentuknya sebuah lembah retakan akibat adanya celah antara ke dua lempeng yang saling menjauh.

## 2. Konvergen

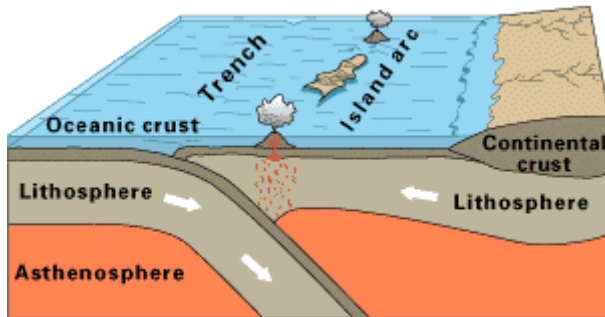
Terjadi apabila lempeng-kempeng saling bertumbukan dan salah satunya menujam (subduksi) ke arah mantel bumi.. wilayah dimana suatu lempeng samudera a terdorong ke bawah lempeng benua atau lempeng samudera lain disebut dengan zona tujaman (*Subduction Zone*). Pada zona ini akan sering nampak aktivitas tektonik yang ditandai oleh gempa bumi, peningkatan aktivitas gunung api, dan lain sebagainya. Pematang gunung api (*volcanic ridge*) dan parit samudera (*ocenic trenches*) juga terbentuk di daerah ini. Zona inilah yang terdapat subduksi di Bagian Selatan Pulau Jawa

## 3. Transform

Terjadi apabila terdapat dua lempeng tektonik yang bergerak saling menjauh, yauti gerak sejajar namun berlawanan arah.

### 2.2 Subduksi

Subduksi adalah titik pertemuan antara dua lempeng yang memiliki perbedaan karakteristik massa jenis. Subduksi pada umumnya terjadi pada lempeng samudera dengan lempeng benua dimana kepadatan material pada lempeng samudera (Lempeng Indo-Australia) dan elemen – elemen zat pada kerak samudera (*mafik*) lebih berat dibanding elemen-elemen zat pada lempeng benua (*felsik*), saat lempeng tektonik ini saling bertumbukan, maka akan terjadi penujaman dimana lempeng yang berat jenisnya lebih tinggi atau massanya lebih besar (Lempeng Indo-Australia), akan menujam ke bawah lempeng yang lebih ringan (Lempeng Eurasia). Hasil dari subduksi adalah terbentuknya barisan gunung api (*volcanic ridge*) dan palung lautan (*ocean trench*). Aktivitas tektonik banyak terjadi di daerah zona subduksi (Badan Geologi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2009).



Gambar 2. 1 Zona Subduksi  
(walrus.wr.usgs.gov, 2005)

### 2.3 Deformasi

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu materi atau perubahan kedudukan (Kuang, 1996). Berdasarkan definisi tersebut deformasi dapat diartikan sebagai perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada sesuatu benda secara absolut maupun relatif. Dikatakan titik bergerak absolut apabila dikaji dari perilaku gerakan titik itu sendiri dan dikatakan relatif apabila gerakan itu dikaji dari titik yang lain . Perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada umumnya mengacu kepada suatu sistem kerangka referensi absolut atau relatif. Prinsip pengukuran deformasi adalah dengan memantau perubahan jarak, beda tinggi, sudut,, maupun koordinat antara titik-titik yang mewakili suatu daerah. Survei deformasi dilakukan secara berulang pada periode yang berlainan. Data dari survei tersebut selanjutnya diolah dan dilakukan hitung perataan sehingga dihasilkan koordinat hasil pengukuran.

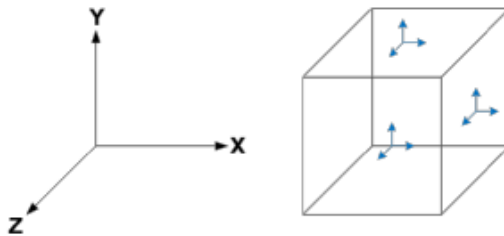
Pada umumnya, deformasi terjadi pada materi bermedium padat. Perubahan bentuk, dimensi, dan posisi dari suatu materi dapat digambarkan secara penuh dalam bentuk tiga dimensi melalui parameter-parameter deformasi, parameter deformasi ini dapat dihitung apabila diketahui fungsi pergeseran benda per satuan waktu. Adapun parameter dari deformasi tersebut dapat

dibagi menjadi 3, yaitu tegangan, regangan, dan rotasi (Singh & Mal, 1991).

a. Tegangan (*Stress*)

Tegangan adalah gaya ( $F$ ) per luas permukaan ( $A$ ) yang diteruskan ke seluruh material. Tegangan menyebabkan benda mengalami perubahan bentuk. Pada umumnya arah tegangan terhadap luas permukaan dapat diuraikan menjadi dua komponen, yaitu:

- tegangan normal (*Normal Stress*), yaitu tegangan yang arahnya tegak lurus terhadap luas bidang;
- tegangan geser (*Shear Stress*), yaitu tegangan yang arahnya sejajar terhadap luas bidang.



Gambar 2. 2 Komponen Tegangan  
(Singh & Mal, 1991)

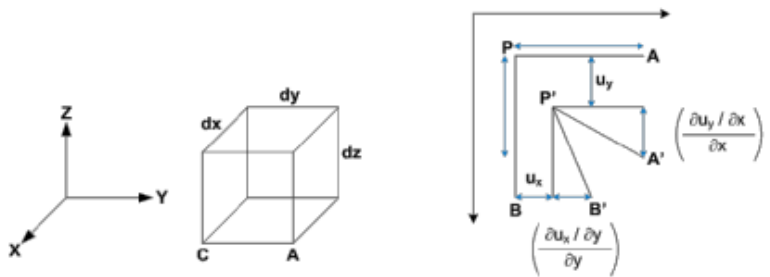
b. Regangan (*Strain*)

Regangan merupakan gaya-gaya yang bekerja pada suatu benda yg meregangkan benda tersebut. Perubahan fraksional suatu benda elastik baik bentuk maupun dimensinya dinamakan dengan regangan (*strain*). Dengan pengukuran berulang jaring geodesi pada waktu yang berbeda, dapat dimungkinkan untuk memonitor perpindahan dari stasiun pengamatan yang di sebabkan oleh kekuatan tektonik yang bekerja pada kerak bumi. Pengukuran perpindahan horizontal dan vertikal dalam jaring



geodetik dilakukan dengan metode yang berbeda dan analisis-analisis tersebut biasanya dilakukan secara terpisah untuk *strain* horizontal dan vertikal. Konsep *strain* untuk deformasi tidak hanya dalam dua dimensi, tapi formulasi tersebut dapat diperluas ke tiga dimensi (Lambeck, 1988).

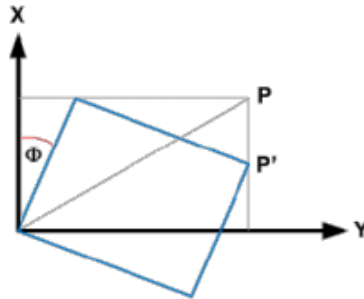
Regangan adalah perbandingan antara pertambahan panjang benda dengan panjang mula-mula setelah diberikan gaya. Dalam sistem koordinat tiga dimensi, perpindahan dari benda tersebut dapat diuraikan dalam komponen  $u_x$ ,  $u_y$ , dan  $u_z$  yang masing-masing sejajar terhadap sumbu koordinat kartesian X, Y, dan Z.



Gambar 2. 3 Kompenen Regangan  
(Singh & Mal, 1991)

#### c. Rotasi

Rotasi adalah perubahan posisi materi yang membentuk sudut terhadap koordinat acuan tanpa mengalami perubahan bentuk. Dalam pemantauan deformasi suatu objek, perlu dilakukan suatu analisis deformasi untuk menentukan kuantitas pergeseran dan parameter-parameter deformasi yang mempunyai karakteristik dalam ruang dan waktu (Chrzanowski *et al.*, 2005). Parameter deformasi didapatkan melalui hasil pergeseran koordinat dari titik-titik pengamatan secara berkala.



Gambar 2.4 Bentuk Rotasi dari Materi  
(Singh & Mal, 1991)

### 2.3.1. Analisis Pergeseran

Analisis pergeseran merupakan analisis yang menunjukkan perubahan posisi suatu benda dengan menggunakan data perbedaan posisi yang didapat dari parataan data pengamatan pada kala yang berbeda.

### 2.3.2. Analisis Regangan

Analisis regangan merupakan analisis yang menunjukkan perubahan posisi, bentuk, dan ukuran suatu benda dengan menggunakan data pengamatan geodetik langsung atau menggunakan data regangan yang diperoleh dari data pengamatan geodetik perubahan posisi. Nilai regangan dihitung dengan menggunakan model regangan yang terdiri dari 9 parameter, yaitu 6 parameter regangan dan 3 parameter rotasi. Persamaan yang dipakai adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} V_{xn} \\ V_{yn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \epsilon_{ee} & \epsilon_{ne} - \Omega \\ \epsilon_{ne} + \Omega & \epsilon_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_n \\ Y_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Keterangan :

$V_{xn}$  = vektor kecepatan sumbu-x suatu titik (m/tahun)

$V_{yn}$  = vektor kecepatan sumbu-y suatu titik (m/tahun)

$X_n$  = koordinat toposentrik sumbu-x suatu titik

$Y_n$  = koordinat toposentrik sumbu-y suatu titik

- $\epsilon_{ee}$ ,  $\epsilon_{nn}$  = regangan normal  
 $\epsilon_{ne}$  = regangan geser  
 $t_x$ ,  $t_y$  = translasi arah x dan arah y  
 $\Omega$  = jumlah dari kuadrat residual

## 2.4 GPS

GPS (*Global Positioning System*) adalah sistem radio navigasi dan penentuan posisi menggunakan satelit yang dimiliki dan dikendalikan oleh Amerika Serikat. GPS terdiri dari 24 satelit yang saling terkonstelasi, sistem satelit GPS didesain untuk menentukan posisi dan kecepatan tiga dimensi yang teliti dan juga informasi mengenai waktu secara kontinyu di seluruh duni. Pada dasarnya GPS terdiri atas 3 segmen utama (Seeber, 2003) yaitu:

### 1. Segmen Angkasa (*Space Segment*)

Terdiri dari 24 satelit yang terbagi dalam enam orbit dengan inklinasi  $55^\circ$  dan ketinggian 20.200 km dan periode orbit 11 jam 58 menit.

### 2. Segmen Sistem Kontrol (*Control System Segment*)

Sistem kontrol merupakan bagian yang bertugas dalam memantau kinerja dari sistem GPS agar dapat berfungsi dengan baik dan tepat. Salah satu tugas dari sistem kontrol antara lain adalah prediksi orbit, monitoring kondisi satelit, dan sinkronisasi waktu.

### 3. Segmen Pemakai (*User Segment*)

Segmen pemakai merupakan pengguna dari sistem GPS baik itu di darat, laut, maupun udara. Secara garis besar segmen pemakai menggunakan *receiver* GPS untuk menangkap sinyal satelit GPS, sehingga didapatkan keluaran berupa posisi, kecepatan, ataupun parameter lainnya.

#### 2.4.1. Penentuan Posisi dengan GPS

Pada prinsipnya penentuan posisi dengan GPS merupakan metode pengikatan ke belakang (*resection*), dengan pengukuran jarak ke beberapa satelit GPS yang telah diketahui koordinatnya. Hasil yang didapatkan dari pengukuran posisi menggunakan GPS

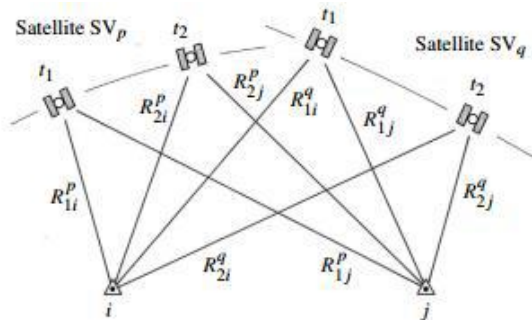
adalah koordinat 3 dimensi (X,Y,Z atau L,B,h) yang dinyatakan dalam datum WGS 84 (*World Geodetic System 1984*), sedangkan tinggi yang diperoleh adalah tinggi ellipsoid, sehingga untuk sistem tingginya berbeda dengan tinggi orthometrik yang merupakan tinggi diatas geoid yang diukur sepanjang garis gaya berat melalui titik tersebut. Pelaksanaan metode penentuan posisi menggunakan GPS dapat diklasifikasikan atas beberapa cara bergantung pada mekanisme pengaplikasiannya, tetapi dua prinsip utama metode penentuan posisi adalah metode absolut dan diferensial yang dapat didefinisikan sebagai berikut:

### 1. Metode Absolut

Metode absolut secara sederhana dapat diartikan sebagai metode penentuan posisi suatu titik tanpa bergantung terhadap titik lain (hanya menggunakan satu *receiver*). Melalui satelit GPS dilakukan pengukuran vektor jarak ( $p$ ) ke titik yang akan ditentukan posisinya. Dengan catatan posisi satelit ( $r$ ) telah diketahui relatif terhadap pusat bumi, maka posisi P (pengamat) akan diperoleh pula relatif terhadap pusat bumi. prinsip dasar penentuan posisi dengan GPS melalui pendekatan vektor ditunjukkan pada

### 2. Metode Diferensial

Metode diferensial secara sederhana dapat diartikan sebagai metode penentuan posisi suatu titik menggunakan minimal dua *receiver* GPS (posisi relatif). Prinsipnya adalah dengan mengurangi data yang diamati oleh dua *receiver* GPS pada waktu yang bersamaan sehingga beberapa jenis kesalahan dan bias dari data dapat dieleminasi atau direduksi. Pengeleminasian dan pereduksian ini akan meningkatkan akurasi dan presisi data yang selanjutnya berimplikasi pada posisi yang diperoleh



Gambar 2. 5 Penentuan Posisi Sistem GPS Metode Diferensial (Seeber, 2003)

#### 2.4.2. Kesalahan dan Bias GPS

Dalam pengambilan data GPS, sinyal satelit GPS mengalami beberapa kesalahan dan bias. Kesalahan dan bias GPS tersebut harus diperhitungkan secara teliti dan benar, karena besar dari kesalahan dan bias tersebut mempengaruhi ketelitian informasi yang diperoleh serta proses penentuan ambiguitas fase dari sinyal GPS. Terdapat beberapa tipe kesalahan dari sistem GPS yang diantaranya adalah:

##### 1. Kesalahan Jam Satelit dan *Receiver*

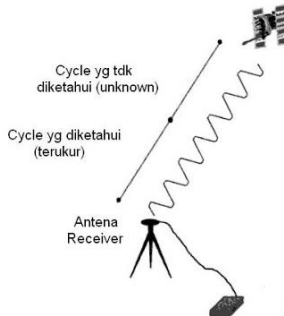
Setiap satelit GPS selalu dilengkapi oleh beberapa jam atom yang digunakan untuk mendefinisikan sistem waktu. Jam-jam tersebut akan mengalami penyimpangan. Pada umumnya *receiver* GPS dilengkapi dengan jam kristal *quartz* yang relatif lebih kecil, lebih murah, dan relatif membutuhkan daya yang lebih sedikit dibandingkan dengan jam atom yang dibawa oleh satelit. Ketidaksinkronan antara jam satelit GPS dan jam *receiver* GPS inilah yang akan memberikan informasi waktu yang berbeda dan dapat menjadi sumber kesalahan.

##### 2. Kesalahan Orbit

Kesalahan orbit, adalah kesalahan dari posisi satelit GPS dimana posisi yang dilaporkan tidak sama dengan posisi satelit sebenarnya.

##### 3. Ambiguitas Fase

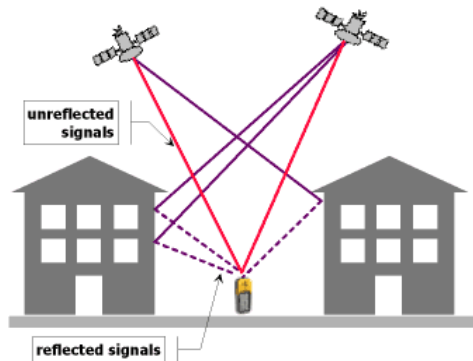
Ambiguitas fase adalah jumlah gelombang penuh yang tidak terukur oleh *receiver* GPS. Ambiguitas fase berupa bilangan bulat kelipatan panjang gelombang. Ketidaktepatan dalam mendefinisikan besarnya ambiguitas fase akan menyebabkan kesalahan dalam penentuan jarak dari satelit GPS kepengamat.



Gambar 2. 6 Ambiguitas Fase  
(Abidin, 2007)

#### 4. Kesalahan *Multipath*

*Multipath* adalah fenomena dimana sinyal satelit GPS tiba ke dalam *receiver* melalui dua lintasan sinyal yang berbeda. Satu sinyal merupakan sinyal langsung dari satelit GPS ke receiver GPS sedangkan sinyal yang lain merupakan sinyal tidak langsung yang dipantulkan oleh benda disekitar antena *receiver* GPS. Kesalahan *multipath* mempengaruhi hasil ukuran *pseudorange* dan *phase*



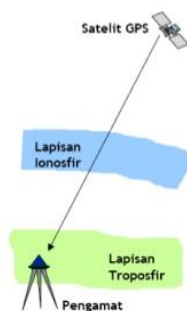
Gambar 2. 7 Multipath  
(Abidin, 2007)

#### 5. Bias Ionosferik

Lapisan Ionosfer yang terdapat pada atmosfer mempengaruhi kecepatan, arah, kekuatan, dan polarisasi dari sinyal GPS yang melaluinya. Efek terbesar yang terpengaruh oleh bias ionosfer adalah kecepatan sinyal GPS, dimana mempengaruhi jarak dan ukuran

#### 6. Bias Troposferik

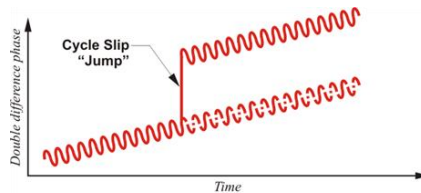
Lapisan troposfer pada atmosfer memberikan efek refraksi yang menyebabkan perubahan kecepatan dan arah sinyal GPS.



Gambar 2. 8 Bias Ionosferik dan Bias Troposferik  
(Abidin, 2007)

### 7. Cycle slip

*Cycle Slip* adalah kesalahan yang menunjukkan ketidak-kontinyuan dari fase gelombang pembawa yang diamati dalam jumlah gelombang penuh, karena sinyal *receiver* GPS terputus pada saat pengamatan sinyal GPS.



Gambar 2. 9 *Cycle Slip*  
(Abidin, 2007)

### 2.5 Pemantauan Deformasi Dengan GPS

Sejak pengembangan pertamanya, GPS telah digunakan secara sukses untuk mengamati stabilitas struktur, sebuah aplikasi yang membutuhkan akurasi ketelitian tinggi. Beberapa contoh didalamnya termasuk pemantauan deformasi bendungan, jembatan dan menara televisi. Pemantauan *subsidence* (amblesan) tanah lahan minyak dan area penambangan adalah contoh lain di mana GPS telah berhasil digunakan. Dalam beberapa kasus, GPS dapat dilengkapi dengan sistem lain seperti INS atau *Total Station* untuk bekerja lebih efisien. Pemantauan penurunan tanah dilakukan dengan mengambil pengukuran GPS atas area yang sama pada interval waktu yang berbeda.

Pada metode ini, beberapa titik yang ditempatkan pada beberapa lokasi yang dipilih, secara periodik ditentukan koordinatnya secara teliti dengan menggunakan metode survei GPS (Abidin, 2007). Dengan mempelajari pola dan kecepatan perubahan koordinat dari titik-titik tersebut dari survei yang satu ke survei berikutnya, maka karakteristik penurunan tanah akan dapat dihitung dan dipelajari lebih lanjut.

Perlu dicatat di sini bahwa dalam studi penurunan tanah dengan metode survey GPS, ada beberapa keunggulan dan



keuntungan yang ditawarkan, yaitu seperti yang dijelaskan pada butir-butir berikut (Abidin, 2007):

1. GPS memberikan nilai vektor deformasi dalam tiga dimensi (dua komponen horisontal dan satu komponen vertikal). Untuk penurunan tanah, yang perlu dipantau adalah komponenvertikalnya.
2. GPS memberikan nilai vektor deformasi (dan penurunan muka tanah) dalam suatu sistem koordinat referensi yang tunggal. Dengan itu maka GPS dapat digunakan untuk memantau deformasi (dan penurunan tanah) suatu wilayah secara regional secara efektif danefisien.
3. GPS dapat memberikan nilai vektor deformasi (dan penurunan tanah) dengan tingkat presisi sampai beberapa mm, dengan konsistensi yang tinggi baik secara spasial maupun temporal. Dengan presisi yang tinggi dan konsisten ini maka diharapkan besarnya deformasi (dan penurunan tanah) yang kecil sekalipun akan dapat terdeteksi denganbaik.
4. GPS dapat dimanfaatkan secara kontinyu tanpa tergantung waktu (siang maupun malam), dalam segala kondisi cuaca. Dengan karakteristik semacam ini maka pelaksanaan survei GPS untuk studi deformasi (dan penurunan tanah) dapat dilaksanakan secara efektif dan fleksibel.

Prinsip pemantauan penurunan tanah dengan GPS adalah menempatkan titik pantau di beberapa lokasi yang dipilih, dilakukan secara kontinu sehingga dapat ditentukan koordinat titik pantau tersebut secara teliti. Dari pengamatan GPS, data yang akan diperoleh adalah berupa koordinat titik pantau dan waktu. Dengan melakukan pengamatan secara periodik, perubahan posisi suatu titik pantau dapat diidentifikasi dengan melihat adanya perubahan nilai koordinat titik pantau dari waktu kewaktu.

## 2.6 INA-CORS BIG

CORS merupakan teknologi berbasis GNSS yang berwujud sebagai suatu jaring kerangka geodetik yang pada setiap titiknya dilengkapi dengan *receiver* yang mampu menangkap sinyal dari

satelit-satelit GNSS yang beroperasi secara penuh dan kontinyu dengan mengumpulkan, merekam, mengirim data dan memungkinkan para pengguna untuk melakukan pengambilan data posisi secara *real time*. CORS digunakan sebagai titik acuan yang digunakan untuk berbagai aplikasi yang menuntut ketelitian tinggi, posisi CORS sendiri harus memiliki kualitas yang baik. Posisinya terus dipantau dan terus diperbaharui terutama jika terjadi pergerakan di bawah tanah tempat stasiun CORS berada. CORS mampu mengakomodir adanya pergerakan lempeng dalam skala lokal maupun global, dan ditentukan dengan mengolah data dari stasiun-stasiun CORS lain yang merupakan bagian dari jaringan CORS global yang sudah ada, dengan metode *double-difference* untuk mengeliminasi kesalahan jam atom pada satelit (Arry, 2011).

InaCORS adalah *Continuously Operating Reference Station* (CORS) yang dikelola oleh Badan Informasi Geospasial sebagai stasiun pengamatan geodetik tetap/kontinu. Stasiun InaCORS dimulai pada tahun 1996 dengan dibangunnya tiga CORS di Cibinong (BAKO), Sampali (SAMP), dan Parepare (PARE). Selain membantu pemeliharaan referensi pemetaan di Indonesia, CORS juga membantu berbagai kegiatan ilmiah maupun praktis di lapangan seperti survei geodinamika dan deformasi, studi ionosfer dan meteorologi, dan juga survei dan pemetaan berbasis *real time* (Badan Informasi Geospasial, 2019)

Data InaCORS berupa data GNSS diolah menggunakan perangkat lunak ilmiah GAMIT/GLOBK bersama dengan data GNSS dari stasiun IGS (*International GNSS Service*). Proses pengolahan melibatkan beberapa jenis data untuk memastikan hasil yang diperoleh memenuhi standar ketelitian yang ditetapkan. Hasil dari kegiatan pengolahan data GNSS tersebut berupa koordinat definitif serta vektor kecepatan perubahan dalam datum yang digunakan. Indonesia telah melakukan perubahan datum nasional mulai dari ID74 menjadi DGN95 dan terakhir, yang saat ini digunakan, adalah SRIG2013.



Gambar 2. 10 Sebaran Stasiun InaCORS 2018  
(Badan Informasi Geospasial, 2019)

Beberapa pemanfaatan stasiun pengamatan geodetik tetap/kontinu (CORS) antara lain:

1. memelihara sistem referensi pemetaan nasional;
2. mendukung percepatan survei dan pemetaan yang akurat;
3. layanan survei pemetaan secara real time;
4. percepatan pelaksanaan Kebijakan Satu Peta;
5. percepatan reformasi agraria nasional;
6. dukungan penegasan batas wilayah untuk batas daerah dan batas negara;
7. dukungan penyusunan rencana tata ruang wilayah;
8. dukungan kegiatan mitigasi kebencanaan (tsunami, gerakan tanah, gempa bumi, erupsi);
9. pemantauan deformasi kerak bumi;
10. dukungan sistem navigasi.

Dengan semakin bertambahnya CORS di Indonesia, maka penentuan referensi geospasial menjadi semakin presisi, terintegrasi dengan sistem referensi global, serta mampu memberikan ketelitian yang memadai untuk memantau pergerakan lempeng tektonik dan deformasi kerak bumi yang

berpengaruh terhadap nilai-nilai koordinat. Untuk mengakomodasi adanya perubahan nilai koordinat terhadap waktu karena adanya pergerakan lempeng tektonik dan deformasi kerak bumi, maka pada tahun 2013 BIG meresmikan datum baru yaitu Sistem Referensi Geospasial Indonesia 2013 (SRGI2013) yang bersifat semi dinamik yang menggantikan DGN95. Sampai dengan pertengahan tahun 2018, datum SRGI2013 didukung oleh 7.153 titik JKG yang diukur secara periodik serta 137 stasiun CORS yang tersebar di seluruh Indonesia, yang kemudian bertambah menjadi 187 stasiun pada akhir tahun 2018. InaCORS bermanfaat sebagai referensi untuk berbagai macam aplikasi penentuan posisi dari kegiatan survei dan pemetaan. Penentuan posisi menggunakan prinsip diferensial GPS seperti pemetaan topografi, survei kelautan, fotogrametri, eksplorasi minyak dan gas, survei kadaster dan survei konstruksi akan menjadi lebih mudah dengan adanya jaringan InaCORS.

## 2.7 IGS (*Internasional GNSS Service*)

IGS (*International GNSS Service*) adalah sebuah layanan dari *International Association of Geodesy* (IAG) yang didirikan pada tahun 1993 dan secara resmi beroperasi pada tahun 1994 terutama menunjang penelitian ilmiah yang berdasar pada pengamatan bumi yang berpresisi dan berakurasi tinggi menggunakan teknologi GNSS, terutama GPS. IGS disusun dari 200 lokasi permanen yang tersebar secara global, tiga pusat data global, lima pusat data operasional atau regional, tujuh pusat analisis, satu koordinator pusat analisis, dan satu biro sentral (Witchayangkoon, 2000). Setiap stasiun IGS pada jaringan global terdapat sebuah *receiver GPS dual frequency* yang melakukan pengukuran dengan interval perekaman data 30 detik.

Keakuratan produk IGS telah meningkat dari sekitar 1 meter (orbit) dan 1 mas (EOP) menjadi sekitar 5 sentimeter (orbit) dan sekitar 0,1 s.d 0,2 mas (EOP). Peningkatan ini menunjukkan data orbit yang direkam oleh stasiun IGS menjadi

lebih akurat, stabil, dan dapat diandalkan (Witchayangkoon, 2000)

## 2.8 Pengolahan *Baseline*

Pengolahan *baseline* bertujuan untuk menghitung vektor *baseline* (dX, dY, dZ) yang menggunakan data fase sinyal GPS yang diamat pada dua titik *baseline* yang bersangkutan. Tujuan utama dari proses pengurangan data GPS atau *differencing* adalah pengeleminasian dan pereduksian efek dari sebagian kesalahan dan bias pada data pengamatan yang dihasilkan. Dengan kata lain, data pengamatan hasil pengurangan menjadi relatif lebih teliti. Proses pengurangan ini juga mengurangi kuantitas dari data pengamatan, sehingga mengurangi beban dari proses pengolahan data nantinya. Disamping faktor-faktor yang menguntungkan tersebut, proses pengurangan ini di lain sisi meningkatkan level *noise* dari data pengamatan yang dihasilkan. Dalam hal ini semakin banyak jumlah pengurangan yang dilakukan semakin tinggi level *noise* yang dihasilkan. Secara matematis, proses pengurangan ini juga membuat data pengamatan menjadi berkorelasi (Sunantyo, 2003).

Pada tahap *baseline processing* terdapat beberapa hitungan matematis untuk mengolah data gelombang GPS menjadi sebuah ukuran untuk menghitung panjang *baseline* dan nilai koordinat.

Hitungan matematis di dalamnya berupa *single difference*, *double difference*, dan *triple difference* yang dituliskan dalam persamaan I.1, I.2, dan I.3 (Blewitt, 1997).

### 2.8.1. Single Difference

Merupakan penentuan posisi dengan cara menyelisihkan data pengamatan dua persamaan secara satu arah atau pada wahana satelit yang sama. *Single difference* disajikan dalam persamaan I.1.

$$\Delta LAB_j = LA_j - LB_j \quad (2.2)$$

### 2.8.2. Double difference

Merupakan cara penentuan posisi dengan menyelisihkan dua persamaan *single difference* pada dua buah *receiver* yang mengamati dua satelit pada waktu yang sama. Proses tersebut dinyatakan dalam persamaan I.2.

$$\nabla \Delta LABjk = \Delta LABj - \Delta LABk \quad (2.3)$$

### 2.8.3. Triple difference

Merupakan cara penentuan posisi dengan cara menyelisihkan dua buah data persamaan *double difference* yang mengamati dua buah satelit pada waktu yang berbeda. Proses tersebut dituliskan pada persamaan I.3.

$$\delta(i, i+1) \nabla \Delta LABjk = \nabla \Delta LABjk(i+1) - \nabla \Delta LABjk(i) \quad (2.4)$$

Keterangan :

$\Delta LABj$  : selisih jarak satelit j ke *receiver* A dan *receiver* B

$LAj$  : jarak satelit j ke *receiver* A

$LBj$  : jarak satelit j ke *receiver* B

$\nabla \Delta LABjk$  : perbedaan selisih jarak satelit j ke *receiver* A dan *receiver* B dengan jarak satelit k ke *receiver* A dan *receiver* B

$\Delta LABk$  : selisih jarak satelit k ke *receiver* A dan *receiver* B

$\delta(i, i+1) \nabla \Delta LABjk$  : perbedaan selisih jarak satelit j ke *receiver* A dan *receiver* B dengan jarak satelit k ke *receiver* A dan *receiver* B pada *epoch* ke i dan i+1

$\nabla \Delta LABjk(i+1)$  : perbedaan selisih jarak satelit j ke *receiver* A dan *receiver* B dengan jarak satelit k ke *receiver* A dan *receiver* B pada *epoch* ke i+1

$\Delta LABjk(i)$  : perbedaan selisih jarak satelit j ke *receiver* A dan *receiver* B dengan jarak satelit k ke *receiver* A dan *receiver* B pada *epoch* ke i

## 2.9 Mencari Kecepatan Vektor Pergeseran

Vektor Pergeseran merupakan besaran yang menyatakan suatu perubahan titik pengamatan dalam selang waktu tertentu, sehingga bisa menjadi indikator terjadinya deformasi di daerah

pengamatan (Rusmen, 2012). Untuk menentukan kecepatan vektor pergeseran stasiun GPS dapat digunakan rumus:

$$X_t = (t - t_0) V + X_{t_0} \quad (2.5)$$

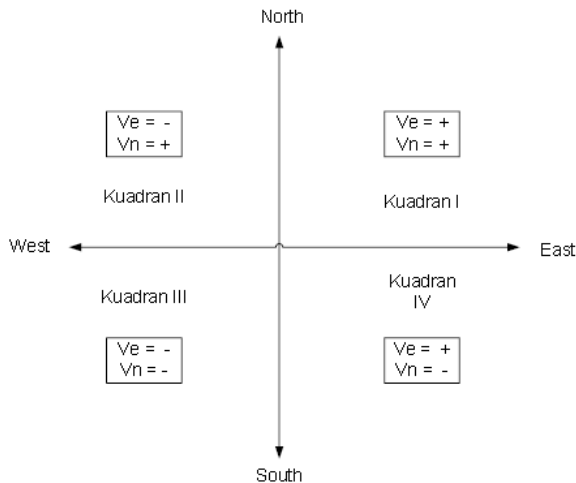
dimana  $X_t$  adalah kordinat stasiun pengamatan di *epoch*  $t$ ,  $X_{t_0}$  adalah koordinat pengamatan di epok  $t_0$ , dan  $V$  adalah kecepatan pergeserannya. Sehingga pada bidang datar akan didapatkan resultan pergeseran  $V_R$  melalui parameter  $V_n$  dan  $V_e$ .

$$V_R = \sqrt{(V_n)^2 + (V_e)^2} \quad (2.6)$$

Sedangkan arah vektor pergeserannya ( $a$ ) dapat diketahui dengan menghitung parameter  $V_e$  dan  $V_n$  dengan rumus :

$$a = \tan \frac{V_e}{V_n} \quad (2.7)$$

Gambar berikut merupakan kuadran vektor hasil perhitungan pergeseran berdasarkan nilai positif (+) atau negatif (-)  $V_{nn}$  dan  $V_e$  dalam arah mata angin.



Gambar 2. 11 Kuadran Arah Vektor Pergeseran  
(Muafiry, 2015)

## 2.10 GAMIT/GLOBK

GAMIT adalah paket analisis GPS komprehensif yang dikembangkan di MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) dan SIO (*Scripps Institution of Oceanography*). Perangkat lunak ini digunakan untuk mengestimasi tiga-dimensi posisi relatif stasiun bumi dan orbit satelit. Perangkat lunak ini dirancang untuk berjalan di bawah sistem operasi UNIX yang mendukung XWindows; sejauh ini MIT telah menerapkan versi untuk Sun (OS/4 dan Solaris2), HP, IBM / RISC, DEC, dan LINUX berbasis *Intel workstation*. Jumlah maksimum stasiun dan sesi disesuaikan oleh dimensi yang ditetapkan pada waktu kompilasi dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan kemampuan komputasinya. Hasil dari GAMIT adalah solusi parameter estimasi dan *covariances* yang dapat diolah di GLOBK untuk memperkirakan posisi stasiun, kecepatan, parameter orbital dan rotasi bumi.

GAMIT menggabungkan algoritma kuadrat terkecil gaya berat untuk mengestimasi posisi relatif dari sekumpulan stasiun, orbital dan parameter rotasi Bumi, jeda zenith, dan ambiguitas fase dengan mencocokkan ke pengamatan fase diferensiasi dua kali. Sejak model fungsional (matematis) berkaitan pengamatan dan parameter adalah non-linear, GAMIT membuat dua solusi, pertama yakni mendapatkan koordinasi dalam desimeter, dan yang kedua yakni mendapatkan estimasi akhir (Herring, 2010). GAMIT membutuhkan delapan macam input data, antara lain:

- a. *raw* data dari data pengamatan GPS;
- b. *l-File* berisi koordinat dari semua stasiun pengamatan atau titik ikat yang digunakan. Koordinat yang digunakan menggunakan koordinat geosentrik;
- c. file *station.info*, berisi informasi stasiun-stasiun;
- d. file *session.info*, berisi sesi data yang akan diolah. Informasi yang tercantum antara lain (tahun, *doy*, sesipengamatan, *sampling rate*, banyak epok, dan nomor-nomor satelit). File juga dapat di buat dengan perintah *makexp* dari GAMIT;



- e. file Navigasi, berupa RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*), *Navigation Messages* maupun *ephemeris* yang disediakan IGS;
- f. file *settbl*, memuat *control table* mengenai karakteristik proses yang dieksekusi oleh GAMIT;
- g. file *sittbl*, digunakan untuk memberikan konstrain pada setiap stasiun pengamatan yang digunakan;
- h. file GPS *precise ephemeris* yang didapat dari IGS dalam format sp3.

Hasil akhir dari proses pengolahan data pengamatan GPS dengan perangkat lunak GAMIT adalah sebagai berikut :

- 1. *q-file*, memuat semua informasi hasil pengolahan data pengamatan GPS dengan GAMIT yang disajikan dalam dua versi *Biasses-free Solution* and *Biass-fixed Solution*;
- 2. *h-file*, berisi pengolahan dengan *Loossely Constraint Solutions* yang berupa parameter-parameter yang digunakan berupa matriks varian kovarian pada pengolahan lanjutan dengan GLOBK (*Global Kalman Filter VLBI and GPS Analysis Program*);
- 3. *Autcln.summary-file*, yang terdiri atas *file autcln.prefit.sum* dan *autcln.post.sum*. kedua file tersebut berisi data statistic hasil editing dengan *autcln*.

Perataan jaring pada GAMIT/GLOBK. Konsep perataan pada GAMIT adalah untuk pengecekan konsistensi terhadap sesama data ukuran. GAMIT menggunakan hitungan kuadrat terkecil parameter berbobot dengan teknik *double difference* dari pengamatan data fase untuk melakukan estimasi posisi dan orbital dari titik pengamatan. Pengolahannya berprinsip kepada koordinat stasiun observasi, koordinat stasiun titik ikat dan parameter orbit (King dan Bock, 2002). Hasil perataan pada GAMIT berupa *loose constrained network* dengan menggunakan *free-network quasi-observation*. Pendekatan yang dilakukan menggunakan perataan *baseline* dengan menggunakan matriks varian kovarian sebagai persamaan hitungan kuadrat terkecil parameter berbobot.

Hasil perataan pada jaring GPS menggunakan perangkat lunak GAMIT adalah *loosely constrained network* dengan menggunakan *free-network quasi-observation* (King dan Bock, 2002). Dengan melibatkan matriks varian kovarian sebagai persamaan hitungan kuadrat terkecil parameter berbobot, pendekatan ini menggunakan perataan *baseline*.

GLOBK (*Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program*) GLOBK adalah perangkat lunak pemfilter data dengan metode kalman filter, yang bertujuan untuk menggabungkan solusi dari pengolahan data primer dari geodesi satelit atau pengukuran terestris. pengolahan diterima sebagai data (*quasi observation*) yang terkait dengan matriks kovarian untuk koordinat titik, parameter rotasi bumi parameter orbit, dan posisi titik yang dihasilkan dari analisis observasi. Data masukan berupa h-file dari hasil pengolahan GAMIT atau GIPSY atau Bernese. GLOBK tidak dapat digunakan untuk membuat model linier, tidak dapat menghilangkan *cycle slips*, *atmospheric delay modelling errors*, data yang buruk, serta tidak dapat melakukan *resolving* ambiguitas fase

Ada tiga fungsi yang biasa dijalankan didalam GLOBK yaitu (Herring dkk, 2010):

- a. mengkombinasikan hasil pengolahan harian untuk menghasilkan koordinat stasiun rata-rata dari pengamatan yang dilakukan lebih dari satu hari;
- b. melakukan estimasi koordinat stasiun dari pengamatan harian yang digunakan untuk menggeneralisasikan data runtut waktu (*time series*) dari pengamatan teliti harian atau tahunan;
- c. mengkombinasikan sesi pengamatan individu dengan koordinat stasiun dianggap stokastik, hasilnya adalah *coordinate repeatabilities* untuk mengevaluasi tingkat ketelitian pengukuran harian atau tahunan.

Perataan jaring pada GLOBK. Dalam pengolahan lanjutan menggunakan GLOBK, dilakukan pendefinisian kerangka referensi terhadap hasil pengolahan perataan jaring bebas pada GAMIT. Dalam pengolahan lanjutan ini, perataan melibatkan titik

ikat (titik yang dianggap *fixed*) dalam menentukan posisi dari titik-titik pengamatan jaring yang telah terdefinisi kerangka referensinya.

### 2.11 GMT (*Generic Mapping Tools*)

Merupakan sebuah perangkat yang dibutuhkan untuk *plotting* hasil pengolahan dari GAMIT/GLOBK. Karena hasil dari pengolahan merupakan data *post-processing* yang berupa file yang berisi koordinat, kode, dan angka yang masih belum dapat dipahami secara kasat mata, sehingga diperlukan GMT untuk merepresentasikan hasil pengolahan dari GAMIT/GLOBK ke dalam sebuah gambar (Wessel dkk, 2018)

### 2.12 Titik Koordinat Geodesi

Dalam ilmu geodesi dan geomatika, posisi suatu titik dinyatakan dengan koordinat (dua dimensi atau tiga dimensi) yang mengacu pada suatu sistem koordinat tertentu. Sistem koordinat itu sendiri didefinisikan dengan menspesifikasi tiga parameter berikut (Abidin, 2007):

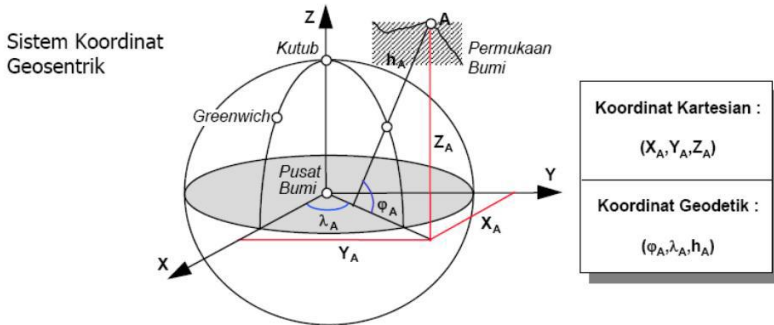
- a. lokasi titik nol dari sistem koordinat
- b. orientasi dari sumbu-sumbu koordinat
- c. besaran (*Kartesian, curvalinier*) yang digunakan untuk mendefinisikan posisi suatu titik dalam sistem koordinat tersebut.

Setiap parameter dari sistem koordinat tersebut dapat dispesifikasikan lebih lanjut dan bergantung pada spesifikasi parameter yang digunakan sehingga dikenal beberapa sistem koordinat yang dikategorikan dalam tiga kelompok besar, salah satunya adalah Sistem Koordinat Terestrial.

Sistem koordinat Terestrial ini mendefinisikan titik-titik yang berada di permukaan bumi, sistem ini dibagi menjadi dua jenis yaitu Sistem Koordinat Geosentrik dan Sistem Koordinat Toposentrik (Abidin, 2007).

### 1. Sistem Koordinat Geosentrik

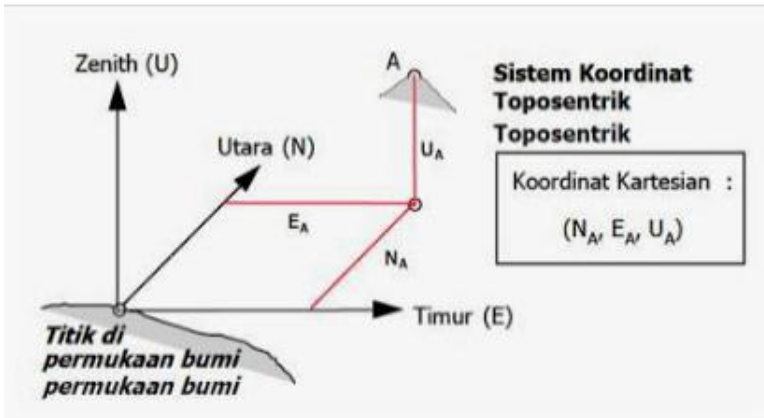
Dalam penentuan posisi suatu titik di permukaan Bumi, titik nol dari sistem koordinat yang digunakan dapat berlokasi di titik pusat massa Bumi. Sistem koordinat geosentrik banyak digunakan dalam metode-metode penentuan posisi ekstra-terrestris<sup>47</sup> yang menggunakan satelit dan benda-benda langit lainnya, dan sistem koordinat toposentrik banyak digunakan oleh metode-metode penentuan posisi terestris



Gambar 2. 12 Sistem Koordinat Geosentrik  
(Abidin, 2007)

### 2. Sistem Koordinat Toposentrik

Sistem koordinat toposentrik adalah sistem penentuan posisi dengan titik nol yang berlokasi di salah satu titik di permukaan Bumi. Sistem koordinat ini bersifat lokal.



Gambar 2. 13 Sistem Koordinat Toposentrik  
(Abidin, 2007)

### 2.13 Uji Hipotesis

Hipotesis adalah dugaan yang sering digunakan sebagai dasar pembuatan keputusan untuk dasar penelitian lebih lanjut. Dalam lingkup lebih spesifik hipotesis dapat disebut sebagai hipotesis statistik, dimana hipotesis statistik adalah suatu anggapan atau pernyataan, yang mungkin benar atau tidak, mengenai satu populasi atau lebih (Myers & Walpole, 1995). Suatu pengujian hipotesis statistik adalah prosedur yang memungkinkan keputusan dapat dibuat, yaitu keputusan untuk menolak atau menerima hipotesis yang sedang diuji. Struktur pengujian hipotesis akan dirumuskan dengan menggunakan istilah hipotesis nol. Ini menyatakan setiap hipotesis yang ingin diuji dinyatakan  $H_0$ . Penolakan  $H_0$  akan membawa pada penerimaan suatu hipotesis tandingan, dinyatakan  $H_1$ . Suatu hipotesis nol mengenai parameter populasi akan selalu dinyatakan sedemikian rupa sehingga parameter tersebut memiliki nilai secara tepat, sedangkan hipotesis tandingan memungkinkan beberapa nilai.

Struktur pengujian hipotesis akan dirumuskan dengan menggunakan istilah hipotesis nol. Ini menyatakan setiap

hipotesis yang akan diuji dinyatakan dengan  $H_0$ . Penolakan  $H_0$  menjurus kepada penerimaan suatu hipotesis tandingan, dinyatakan dengan  $H_1$ . Dalam pengujian statisti terdapat empat kemungkinan keadaan yang menentukan apakah keputusan yang diambil benar atau tidak. Tabel 2.1 merupakan empat kemungkinan keadaan dalam pengujian statistik (Walpole & Myers, 1995).

Tabel 2. 1 Kemungkinan Keadaan Dalam Pengujian Hipotesis Statistik  
(Modifikasi dari Walpole & Myers, 1995)

	<b><math>H_0</math> Benar</b>	<b><math>H_0</math> Salah</b>
Terima $H_0$	Keputusan benar	Galat jenis II
Tolak $H_0$	Galat Jenis II	Keputusan

Uji hipotesis memiliki beberapa ragam salah satunya adalah uji T. Uji T adalah jenis pengujian statistika untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan dari nilai yang diperkirakan dengan nilai hasil perhitungan statistika. Uji ini dapat dilakukan dengan membandingkan  $t$  hitung dengan tabel distribusi  $t$ . Penggunaan  $t$  *student* baik untuk selang kepercayaan maupun pengujian hipotesis dikerjakan di bawah anggapan ; peubah acak  $X_1, X_2, \dots, X_n$  menyatakan sampel acak dari distribusi normal dengan  $\mu$  dan  $\sigma^2$  tidak diketahui. Maka peubah acak  $\sqrt{n}(\bar{X} - \mu)/S$  berdistribusi- $t$  *student* dengan derajat kebebasan (*degree of freedom*)  $n - 1$ . Jadi untuk hipotesis dwipihak;

- $H_0: \mu = \mu_0$
- $H_1: \mu \neq \mu_0$

Penolakan pada taraf keberartian  $\alpha$  bila statistik  $t$  hasil perhitungan

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s/\sqrt{n}} \quad (2.8)$$

Melampaui  $t_{\frac{\alpha}{2}, n-1}$  atau kurang dari  $-t_{\frac{\alpha}{2}, n-1}$ . Untuk hipotesis dwipihak pada taraf keberartian  $\alpha$  berlaku daerah kritis dwisisi. Untuk  $H_1: \mu = \mu_0$ , penolakan diambil bila  $t > t_{\frac{\alpha}{2}, n-1}$ . Untuk  $H_1: \mu \neq \mu_0$  daerah kritisnya adalah  $t < t_{\frac{\alpha}{2}, n-1}$  (Walpole & Myers, 1995).

#### 2.14 Penelitian Terdahulu

Penelitian pertama adalah Analisis Deformasi di Wilayah Jawa Tengah Akibat pengaruh Subduksi Berdasarkan Data Pengamatan GPS Tahun 2009 – 2012. Tujuan dari penelitian tersebut adalah melakukan estimasi pergeseran di wilayah Jawa Tengah, menganalisis pola deformasi dan pengaruh langsung maupun tak langsung subduksi di wilayah Jawa Tengah, dan menganalisis karakteristik regangan. Software yang digunakan adalah Bernese 5.0. stasiun yang digunakan adalah CJPR, CMGL, CPBL, CPKL, CSEM, dan JOGS.

Penelitian yang kedua adalah Analisa Kecepatan Pergeseran di Wilayah Jawa Tengah Bagian Selatan Menggunakan GPS CORS Tahun 2013-2015 oleh Avrilina Luthfi Hadi yang dilaksanakan pada tahun 2016. Tujuan dari penelitian tersebut adalah mengetahui kecepatan pergeseran horisontal dan vertikal stasiun CORS BIG di Cilacap, Kebumen, Bantul, Magelang, Purbalingga dan Solo ; mengetahui arah pergeseran stasiun CORS BIG yang diamati ; menganalisis regangan di wilayah Jawa Tengah bagian Selatan berdasarkan stasiun CORS BIG. Stasiun yang digunakan adalah CBTL, CCLP, CKBN, CMGL, CSLO, dan CPBL. Software yang digunakan untuk pengolahan adalah GAMIT/GLOBK.

Penelitian terakhir yang dijadikan referensi adalah milik Endra Gunawan dan Sri Widiyantoro dengan judul *Active tectonic deformation in Java, Indonesia inferred from a GPS-derived strain rate*. Penelitian ini menggunakan 62 data stasiun GPS CORS dari tahun 2008 – 2013 untuk mengestimasi rata-rata regangan, dan untuk mengidentifikasi lempeng tektonik aktif di

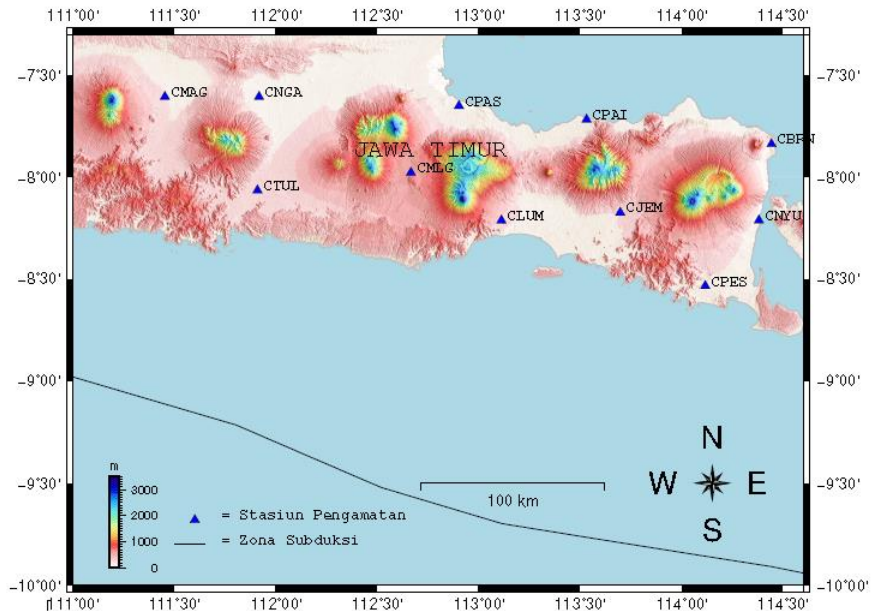
wilayah Jawa. Identifikasi tektonik aktif pada penelitian ini menggunakan analisis rata-rata regangan yang didapatkan dengan metode *gridding* atau interpolasi dari data GPS dengan menggunakan algoritma dari dua komponen, yakni utara dan timur.



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di wilayah Jawa Timur bagian Selatan dengan detil stasiun yang diamati dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Lokasi Stasiun GPS CORS

Pada penelitian ini dilakukan pengamatan data pada 11 (sebelas) Stasiun CORS BIG yang berada di Selatan Jawa Timur dengan batas koordinat geografis terdapat di Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Koordinat Stasiun Pengamatan

No.	STASIUN CORS	LINTANG	BUJUR
1.	CMAG	111° 27' 10.08"	-7 °36'24.12"
2.	CNGA	111 °55'0.48"	-7 °36'25.92"
3.	CTUL	111 °54'30.96"	-8 °3'38.68"
4.	CMLG	112 °39'53.28"	-7 °58'46.56"
5.	CPAS	112 ° 54'5.04"	-7 °39'.6.12"
6.	CLUM	113 °6'39.24"	-8 °13'54.84"
7.	CPAI	113 °31'49.44"	-7 °43'7.68"
8.	CJEM	113 °41'45.6"	-8 °10.31.44"
9.	CPES	114 °6'54.72"	-8 °32'4.92"
10.	CBRN	114 °26'30.12"	-7 °50'20.4"
11.	CNYU	114 °22'45.48"	-8 °12'47.52"

### 3.2 Data dan Peralatan

#### 3.2.1 Data

##### a. Data Stasiun Pengamatan (RINEX)

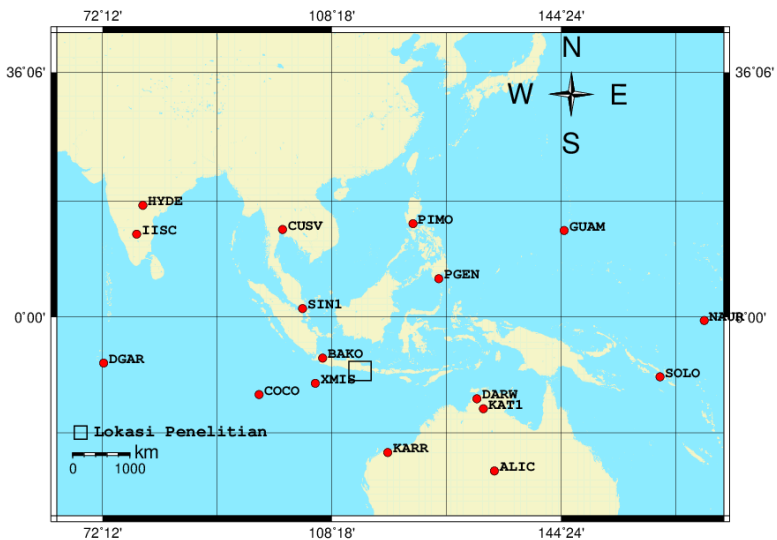
Data stasiun pengamatan tugas akhir ini merupakan data RINEX sebelas stasiun Ina-CORS yang didapatkan dengan melakukan permohonan permintaan data tugas akhir kepada BIG (Bada Informasi Geospasial) pada bagian PJKGG (Pusat Jaring Kontrol Geodesi dan Geodinamika). Jumlah stasiun yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebanyak 11 stasiun yang tersebar di Jawa Timur Bagian Selatan untuk bulan Januari 2015 sampai dengan Bulan Desember 2018. Penelitian ini menggunakan sampel doy untuk mewakili setiap bulan dalam setiap tahun.

Data sebelas stasiun yang didapatkan didapatkan format .d, untuk selanjutnya data-data tersebut akan dikonversikan ke dalam format .o dengan menggunakan perintah `sh_cr2rn` dalam GAMIT. Sebelas stasiun yang digunakan dalam pengamatan ini adalah CMAG, CNGA, CTUL, CMLG, CPAS, CLUM, CPAI, CJEM, CPES, CBRN, dan CNYU.

### b. Data Stasiun IGS

Dalam pengamatan ini diperlukan titik ikat *GPS Interntional GNSS Service* (IGS) yang diperlukan sebagai titik kontrol pengamatan yang didapatkan dalam format .o (*observation data*). Deluruh stasiun IGS berada mengelilingi wilayah wilayah penelitian yaitu Jawa timur bagian Selatan. Penelitian ini menggunakan 17 titik ikat IGS yang digunakan dalam penelitian yaitu XMIS, DARW, DGAR, PIMO, COCO, SOLO, BAKO, BAUR, GUAM IISC.

Data stasiun IGS diperoleh dengan mengunduh di laman <ftp://cddis.nasa.gov/gps/data/daily> atau juga bisa menggunakan perintah `sh_get_rinex` dalam GAMIT. Data yang di unduh menyesuaikan *doy* dan stasiun IGS yang akan digunakan.



Gambar 3. 2 lokasi Stasiun IGS

### c. Data Orbit Satelit

Data orbit satelit merupakan *ephemeris file* dengan format .sp3 yang dapat diunduh melalui [garner.ucsd.edu/pub/product](http://garner.ucsd.edu/pub/product) atau juga bisa di unduh dengan menggunakan perintah `sh_get_orbits`

dalam *software* GAMIT. Data yang diunduh juga menyesuaikan dengan stasiun dan *doy* yang digunakan dalam penelitian.

d. Nilai Jam Satelit

Nilai jam satelit merupakan *file* navigasi RINEX dengan nama *brdcDDD0.Yyn* yang dapat diunduh secara manual melalui *ftp://cddis/.gsfc.nasa.gov/brdc* atau juga dapat diunduh secara otomatis dengan menggunakan perintah *sh\_get\_nav* dalam *software* GAMIT. Data yang diunduh menyesuaikan dengan *doy* yang digunakan dalam penelitian.

e. Data pendukung dalam pengolahan GAMIT/GLOBK

- Data pemodelan atmosfer (*atmdisp\_cm.YYYY*)
- Data pemodelan pasang-surut laut (*otlFES2004.grid*)
- Data pemodelan cuaca (*vmflgrid.YYYY*)

Data-data pendukung di atas dapat diunduh melalui *ftp://everest.mit.edu/pub/GRIDS*. Dalam pengolahan GAMIT data-data tersebut akan digunakan dalam folder kontrol pengolahan GAMIT yakni folder */tables*.

### 3.2.2 Peralatan

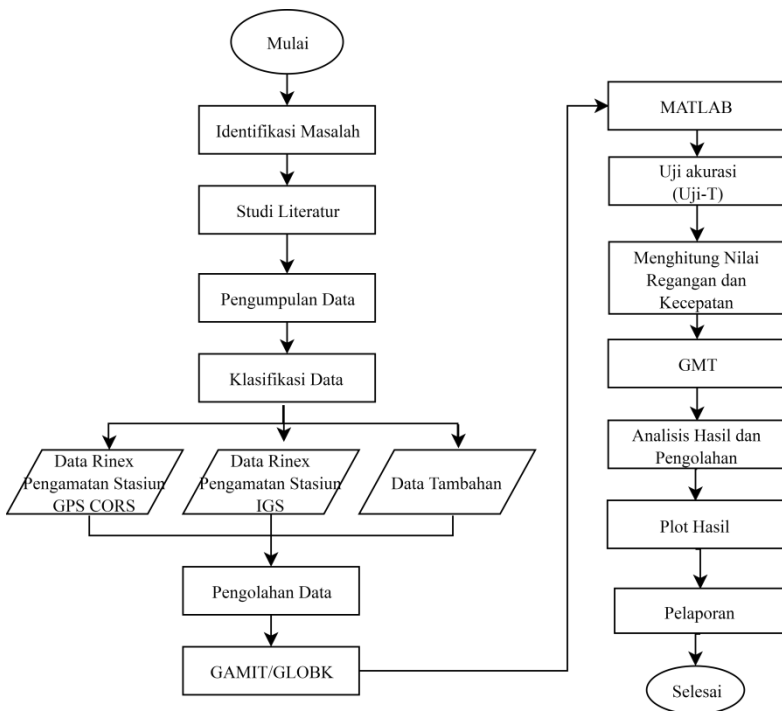
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Linux Ubuntu
- b. Sistem operasi *Windows* 8
- c. GAMIT 7
- d. Matlab
- e. GMT 5
- f. *Microsoft Office*

## 3.3 Tahapan Penelitian

### 3.3.1. Tahap Pelaksanaan Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian ini secara garis besar akan ditunjukkan oleh diagram alir pada gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah penjelasan dari diagram alir pada gambar 3.3 :

a. Identifikasi Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana menganalisis parameter deformasi, yaitu kecepatan, arah dan regangan pada titik-titik pengamatan di wilayah Jawa Timur bagian selatan pada tahun 2015-2018.

b. Studi Literatur

Tahapan ini bertujuan untuk mendapatkan referensi yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan, literatur yang digunakan meliputi analisis deformasi, kecepatan pergeseran dan regangan, serta literatur lain yang terkait dengan penelitian ini.

#### c. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data sekunder yang diperlukan dalam penelitian ini. Untuk data stasiun pengamatan diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) melalui pengajuan permohonan data. Sedangkan untuk data-data pendukung lainnya didapatkan dengan mengunduh di laman penyedia data pendukung yang diperlukan.

#### d. Pengolahan Data

Dalam tahapan ini dilakukan proses pengolahan data dengan format RINEX menggunakan GAMIT/GLOBK, Matlab serta GMT untuk *plotting* hasil pengolahan data.

#### e. Analisis Hasil Pengolahan

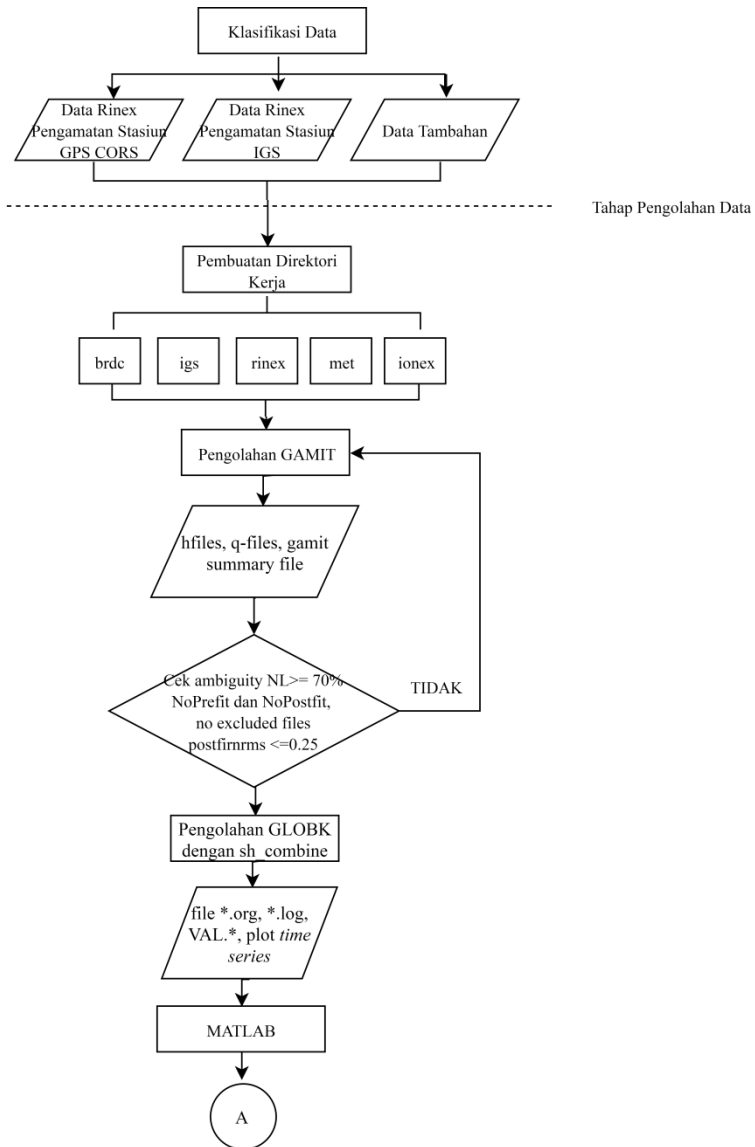
Setelah data-data penelitian selesai diolah, selanjutnya hasil pengolahan tersebut akan dianalisis sesuai dengan tujuan penelitian.

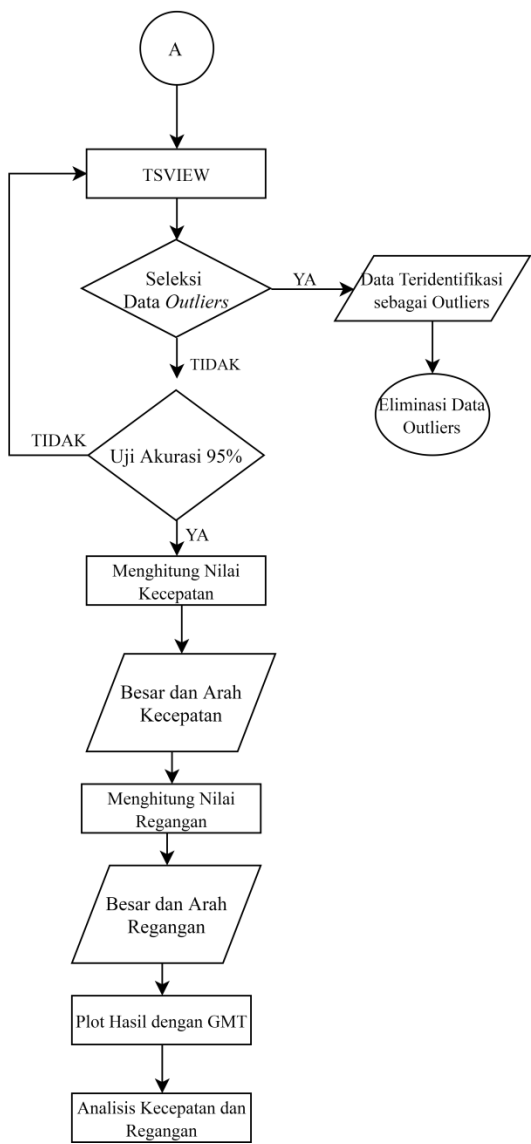
#### f. Pembuatan Laporan Akhir

Tahapan ini merupakan tahapan akhir dari serangkaian proses penelitian ini. Pembuatan laporan akhir merupakan proses penyajian penelitian dalam bentuk laporan dan presentasi hasil penelitian.

### 3.4 Tahapan Pengolahan Data

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengolahan data dengan menggunakan tiga perangkat lunak, yaitu GAMIT/GLOBK untuk mengolah data GPS, Matlab untuk deteksi outliers, dan GMT untuk *plotting* hasil perhitungan besar dan arah kecepatan serta regangan.





Gambar 3. 4 Diagram Alir Pengolahan Data



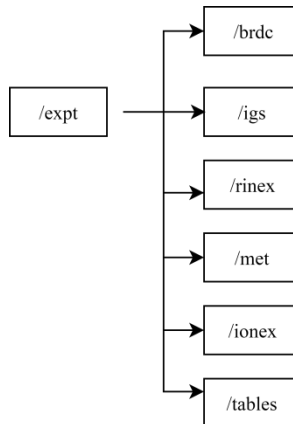
a. Data

Data yang digunakan adalah data Rinex Stasiun IGS dan Stasiun CORS, file navigasi (*broadccast ephemeris*) dan *precise ephemeris* (.sp3), serta data tambahan berupa data meterologi dan ionex.

Data rinex yang digunakan adalah data *sampling* yang diambil dari tiap bulan dalam kurun waktu 2015-2018. Data rinex diambil setiap 15 hari dalam tiap bulan, sehingga data yang digunakan dalam 1 tahun terdapat 120 *doy* yang diamati.

b. Pembuatan Direktori Kerja dan Klasifikasi data Pengolahan

Direktori kerja sesuai klasifikasi dengan data yang digunakan. Adapaun direktori kerja yang harus ada dalam setiap eksperimen (tahun pengamatan). Dalam penelitian ini akan di buat empat folder eksperimen yang masing-masing isinya adalah direktori brdc, rinex, igs, met, ionex, dan tables. Folder tables ini akan secara otomatis terbuat pada saat proses pengolahan telah dilakukan.



Gambar 3. 5 Struktur Direktori Kerja

Pembuatan direktori kerja digunakan untuk memudahkan proses pekerjaan saat pengolahan data dilakukan. Pada umumnya pada setiap direktori kerja memiliki direktori *project* yang menjadi tempat utama dalam pengolahan data nantinya. Dalam

direktori project tersebut nantinya terdapat folder-folder yang menyusun struktur kerja dari pengolahan GAMIT, adapun folder tersebut adalah:

- RINEX, folder yang digunakan untuk menyimpan file-file RINEX observasi baik itu dari titik pengamatan ataupun titik kontrol.
- IGS, folder yang digunakan untuk menyimpan file orbit satelit. Pada umumnya file IGS yang digunakan bertipe final IGS *precise ephemeris* dengan format \*.sp3.
- Brdc, folder yang digunakan untuk menyimpan file navigasi global sesuai dengan *doy* project yang akan diolah.
- *Tables*, folder yang berisi file-file kontrol dari pengolahan GAMIT. Folder tables dibuat secara otomatis menggunakan perintah bawaan dari *software* GAMIT

Terdapat juga folder yang berisi data tambahan yang bisa diikutkan dalam pengolahan, yaitu:

- ionex, folder yang berisi file pemodelan ionosfer sesuai *doy* yang akan diolah;
- met, folder yang berisi file pemodelan meteorologi sesuai stasiun IGS dan *doy* yang diolah.

#### c. Proses Pengolahan data dengan GAMIT

Tujuan akhir pengolahan data dengan GAMIT adalah untuk mendapatkan koordinat perhari di seluruh stasiun pengamatan dalam bentuk *h-file* yang berisikan matriks kovarian dan parameter perataannya sebagai data input pengolahan GLOBK, *q-file* berisikan informasi koordinat apriori untuk setiap stasiun pengamatan dalam satuan meter dan *file \*.summary* yang berisi informasi ringkasan hasil pengolahan GAMIT di setiap *doy* nya.

Langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan menyalin *file-file* pendukung untuk pengolahan dari ~/gg/tables dengan perintah otomatis pada GAMIT dengan menggunakan perintah:

```
Sh_setup -yr (YYYY)-apr <apr_file>
```

Langkah selanjutnya adalah *Editing File Control*. Di antara *file-file* yang di salam terdapat *file* yang digunakan sebagai *file*

*control* dalam pengolahan data, untuk melanjutkan pengolahan GAMIT *Editing file control* dilakukan untuk menyesuaikan skema pengolahan dengan data yang tersedia. *File control* yang perlu di *edit* adalah sebagai berikut;

- *l-file*, koordinat apriori titik ikat maupun stasiun pengamatan yang belum tersedia perlu dimasukkan ke file ini. Untuk data stasiun pengamatan bisa mengambil dari RINEX observasi;
- *process.default*, tentukan lokasi file-file yang akan dilakukan pengolahan GAMIT. File ini juga digunakan untuk menentukan tipe file navigasi serta apr file yang digunakan;
- *sestbl*, untuk mengatur strategi pengolahan data pada GAMIT untuk data yang diolah;
- *sites.default*, berisi nama stasiun yang akan diolah beserta opsi pengambilan data dan opsi pengolahannya;
- *sittbl*, berisi bobot (*constraint*) titik ikat dan stasiun pengamatan yang diolah. Berikan *constraint* mendekati nol untuk titik ikat, karena diasumsikan stasiun stabil. Dan berikan *constraint* besar untuk stasiun pengamat, asumsi stasiun tidak stabil;
- *station.info*, berisi informasi stasiun seperti *session start* (awal pengamatan), *session stop* (akhir pengamatan), Ant Ht (tinggi antenna), *receiver type* (tipe receiver), dan *antenna type* (tipe antenna).

#### d. Pengolahan dengan sh\_gamit

Setelah seluruh data telah siap dan sesuai dengan skema pengolahan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan *Automaticc Batch Proessing* yang merupakan perintah yang memudahkan untuk melakukan pengolahan secara *loose-cconstraint* dengan sekali perintah, perintah yang digunakan adalah

```
Sh_gamit -s <yyyy> <doy awal> <doy akhir>
        -expt <expt> -met -ion -pres ELEV -orbit
                        IGSF
```

Hasil akhir dari proses pengolahan data pengamatan GPS dengan *software* GAMIT adalah sebagai berikut:

- *q-file*, memuat semua informasi hasil pengolahan data pengamatan GPS dengan GAMIT
- *h-file*, berisi hasil pengolahan berupa matriks varian kovarian sebagai input pada pengolahan lanjutan dengan GLOBK
- *Autcln.summary-file*, yang terdiri atas *file autcln.prefit.sum* dan *autcln.post.sum*. kedua file tersebut berisi data statistic hasil editing dengan *autcln*.

#### e. Pengolahan dengan GLOBK

Pengolahan GLOBK membutuhkan persiapan beberapa folder tambahan yaitu */hgmit* dan */hfiles*. Adapun *file* yang akan di *edit* sesuai dengan kebutuhan penelitian adalah *file control* pengolahan GLOBK yaitu *globk\_comb.cmd* dan *glorg\_comb.cmd* yang di salin dari *~/gg/tables* dan ditempatkan dalam */gsoln* di folder eksperimen.

Setelah pengaturan *file-file* yang dibutuhkan, selanjutnya akan dilakukan proses perhitungan dan *plotting* koordinat *time series* dengan menggunakan perintah *sh\_glred* yang dilakukan dalam */proj*. Proses ini dilakukan di folder yang di dalamnya terdapat hasil pengolahan GAMIT selama empat tahun supaya bisa dilakukan penggabungan data dari tahun 2015-2018. Perintah yang digunakan dalam proses ini adalah

```
sh_combine -s -<yr1><d1> -<yr2><d2> -
           ncomb 1
```

Dalam pengolahan *sh\_combine* ini akan dihasilkan *file* dengan format *\*.org* tiap *doy* yang berisi *summary* hasil pengolahan di folder *gsoln*. Dalam *file \*.org* akan dihasilkan Koordinat toposentrik dan kartesian 3D beserta simpangan baku untuk setiap stasiunnya, panjang *baseline* beserta ketelitiannya.

Untuk melakukan *plotting* hasil pengolahan GLOBK hasil ke bentuk grafik, pertama buat folder */pos* di direktori kerja seajar

dengan tahun dan *gsoln*, lalu masuk ke dalam folder tersebut dan ketikkan perintah

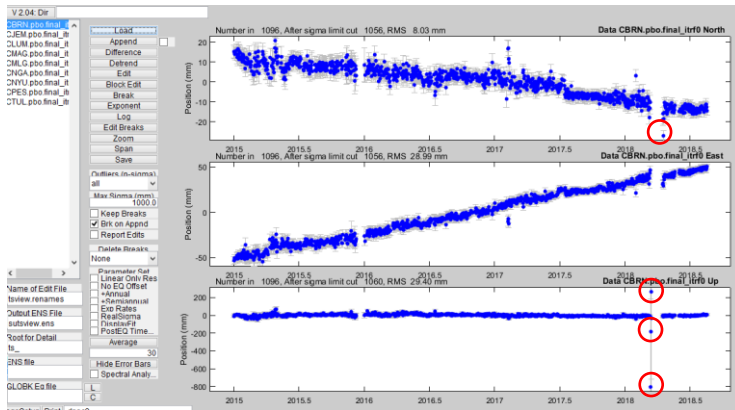
```
tssum ../pos pbo.final_itrf08 -R
      ../gsoln/*.org
```

```
Sh_plot_pos -f SSSS.pbo.final_itrf08.pos
```

Dimana SSSS merupakan nama stasiun yang akan dilakukan *plotting*.

#### f. Data *Outliers*

Data *Outliers* adalah data yang menyimpang terlalu jauh dari data lainnya dalam satu rangkaian *time series*. Agar analisis dari hasil tidak menjadi bias atau tidak sesuai dengan sebenarnya, maka data tersebut perlu dihilangkan. Dalam penelitian ini data *outliers* akan ditentukan dan di eliminasi dalam *software* matlab 2016b. *Outliers* diitentukan dengan menentukan selang data rata-rata. Deteksi data yang ditengarai sebagai *outliers* dengan melihat nilai *wrms*. *Wrms* yang kurang dari 10mm menandakan bahwa tidak adanya *outliers* (Herring *et al*, 2015). Maka dalam *Tsview* yang merupakan *software* turunan dari matlab, *range* pengaturan penghapusan data akan di atur dalam 10mm. Gambar



Gambar 3. 6 Data Outliers

#### g. Perhitungan Kecepatan dan Regangan

Data yang telah terbebas dari outliers selanjutnya akan digunakan untuk menghitung kecepatan pada setiap stasiun pengamatan.

GLOBK dapat melakukan perhitungan kecepatan secara otomatis. *File* yang harus dipersiapkan lebih dulu adalah *glorg\_comb.cmd* dan *globk\_vel.cmd*, untuk *file* *globk\_comb.cmd* nantinya akan otomatis terkonversi menjadi *glorg\_vel.cmd* pada saat *running* proses perhitungan kecepatan dengan GLOBK. Lalu jalankan modul GLOBK dengan perintah:

```
Globk 6 velo.prt velo.log velo.gdl
      globk_vel.ccmd
```

Hasil kecepatan dapat dilihat dalam *file* *velo.org* di folder *gsoln*. Setelah itu dapat dilakukan perhitungan regangan.

#### h. Plotting dengan GMT

Setelah kecepatan, regangan dan arah pergeseran telah diketahui, maka selanjutnya adalah melakukan *plotting* dengan menggunakan GMT untuk mengetahui visualisasi arah yang dihasilkan. Plotting dengan GMT dilakukan dengan

menggunakan GMT *for windows* untuk memasukkan *file* data-data yang akan ditampilkan.

Data yang diperlukan adalah data *longitude* dan *latitude* stasiun GPS, besar kecepatan dan standar deviasi ( $\sigma$ ) yang didapatkan dari *file* [velo.org](http://velo.org) yang berada pada direktori `/vsoln`, serta data-data pendukung lainnya yang akan digunakan untuk *plotting*.

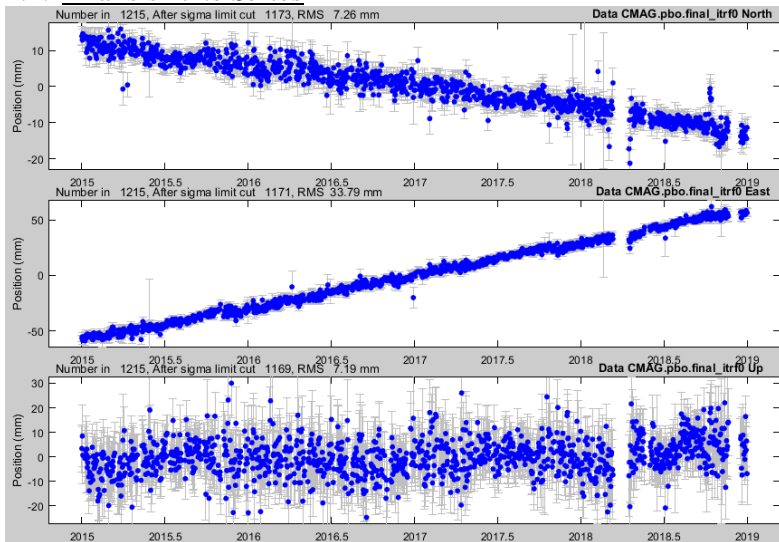
***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



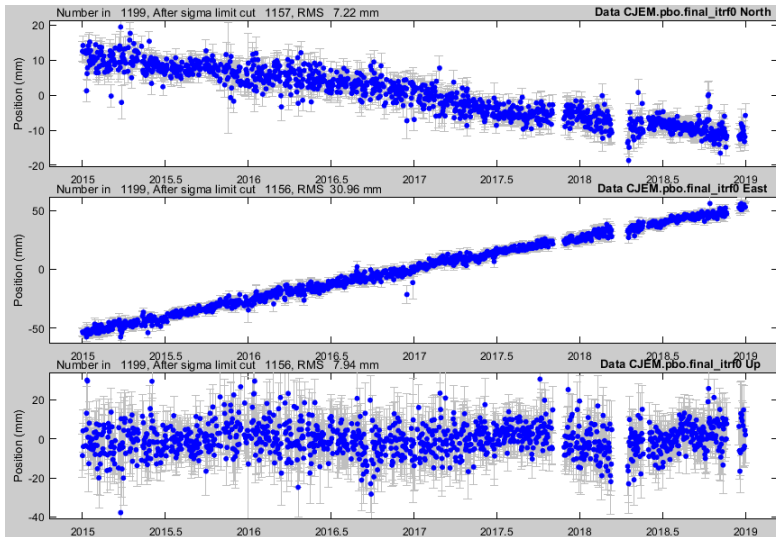
## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Pengolahan data GPS Ina-CORS dalam penelitian ini menggunakan *software* GAMIT yang dikombinasikan dengan pengolahan GLOBK. Pengoperasian GAMIT/GLOBK menggunakan sistem Linux yang melewati beberapa tahapan pengolahan untuk menghasilkan koordinat harian, nilai dan arah kecepatan pergeseran stasiun pengamatan. Selain itu, pada bab ini juga akan dipaparkan hasil perhitungan regangan sesuai dengan tujuan penelitian.

### 4.1. *Analisis Time Series*



Gambar 4. 1 *Time Series* Pengamatan Stasiun CBRN



Gambar 4. 2 *Time Series* Pengamatan Stasiun CJEM

Data yang diperoleh mengandung *outliers* yang merupakan sebaran data pada *Time series* yang mengalami kesalahan yang dikarenakan kualitas data pengamatan yang kurang baik atau penyebab lainnya. Untuk menghilangkan data *outliers* ini menggunakan data VAL.YYY yang berisikan data posisi dalam bentuk toposentrik beserta standar deviasinya sebagai dasar untuk menghilangkan data *outliers*.

Dari hasil *plotting time series* dapat dilihat bahwa *northing* dan *easting* menunjukkan bahwa pergerakan titik-titik pengamatan menuju ke arah tenggara. Hasil *time-series* dari stasiun lain ada dapat dilihat di lampiran.

#### 4.2. Hasil Perhitungan Kecepatan Pergeseran Horizontal

Kecepatan dihasilkan melalui proses pengolahan GLOBK dengan *editing file control* globk\_vel.cmd dan glorg\_vel.cmd dengan menggunakan data yang telah terbebas dari *outliers*. Besar kecepatan pergeseran arah *easting* dan *northing* pada tahun 2015

hingga 2018 pada sebelas stasiun pengamatan beserta nilai standar deviasi didapatkan nilai pada Tabel 4.1, sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Kecepatan Komponen Pergeseran Titik Pengamatan GPS CORS tahun 2015-2018

Titik Pengamatan	$V_e$ (mm/tahun)	$V_n$ (mm/tahun)	$\sigma_e$ (mm/tahun)	$\sigma_n$ (mm/tahun)
CMAG	29.28	-6.93	0.07	0.06
CNGA	28.47	-12.17	0.16	0.34
CTUL	28.43	-7.47	0.1	0.05
CMLG	27.43	-6.49	0.1	0.12
CPAS	26.58	-6.28	0.15	0.36
CLUM	27.75	-6.63	0.05	0.06
CPAI	27.39	-6.93	0.11	0.08
CJEM	26.79	-6.95	0.28	0.07
CPES	27.85	-5.82	0.08	0.22
CBRN	27.61	-7.61	0.14	0.21
CNYU	27.57	-5.31	0.11	0.14

Pada tabel di atas, terlihat bahwa arah pergerakan setiap stasiun mengarah ke tenggara (*south east*). Seluruh kecepatan arah  $e$  ( $V_e$ ) memiliki nilai positif. Nilai vektor pergeseran yang dihasilkan dari suatu sesi pengamatan bernilai positif (+) atau negatif (-) akan memengaruhi arah pergeseran. Arah pergeseran ditentukan melalui pembagian kuadran seperti pada Gambar 2.11.

Dari teori tersebut dapat diketahui bahwa hasil dari perhitungan pergeseran horizontal titik pengamatan 11 titik menuju ke arah tenggara (berada di kuadran IV).

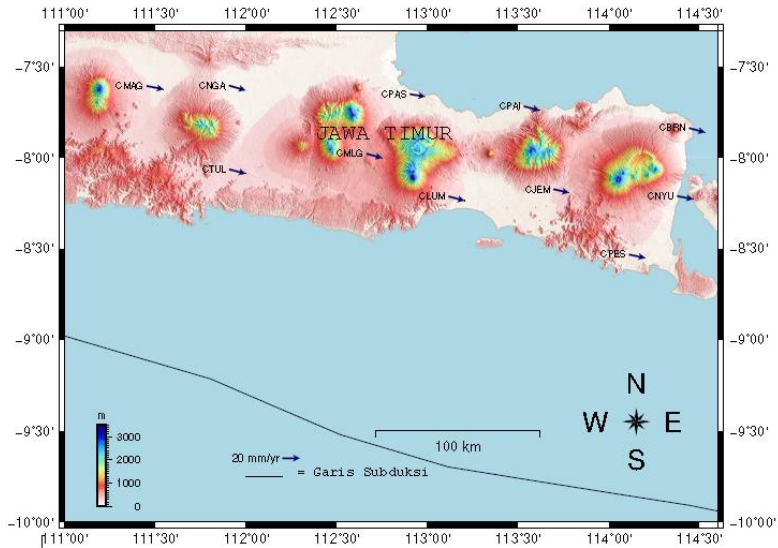
Dari hasil perhitungan di Tabel 4.1 besar kecepatan horizontal dapat dihitung dengan menggunakan rumus (2.6). hasil perhitungan resultan kecepatan horizontal dapat dilihat dalam Tabel 4.2

Pada Tabel 4.2 kecepatan horizontal terbesar berada pada stasiun CMAG yang berada di Magetan dengan nilai kecepatan 29.28008 mm/tahun, sedangkan stasiun yang memiliki kecepatan horizontal terkecil adalah CPAS yang berada di Pasuruan dengan nilai kecepatan 26.58042 mm/tahun.

Tabel 4. 2 Kecepatan Titik Pengamatan GPS tahun 2015-2018

Titik Pengamatan	V Horizontal (mm/tahun)	$\sigma_{ne}$ (mm/tahun)
CMAG	29.28	0.09
CNGA	28.47	0.37
CTUL	28.43	0.11
CMLG	27.43	0.15
CPAS	26.58	0.39
CLUM	27.75	0.07
CPAI	27.39	0.13
CJEM	26.79	0.28
CPES	27.85	0.23
CBRN	27.61	0.25
CNYU	27.57	0.17

Gambar 4.2 menunjukkan hasil *plotting* GMT kecepatan pergerakan horizontal stasiun pengamatan GPS CORS. Gambar 4.2 menunjukkan bahwa sepuluh dari 11 stasiun yang diamati mengalami pergerakan ke arah tenggara, sedangkan satu stasiun bergerak ke arah timur laut sesuai dengan analisis kecepatan pada arah  $e$  dan  $n$ .



Gambar 4. 3 Plot Kecepatan Horizontal dengan GMT

#### 4.3. Hasil Perhitungan Kecepatan Vertikal

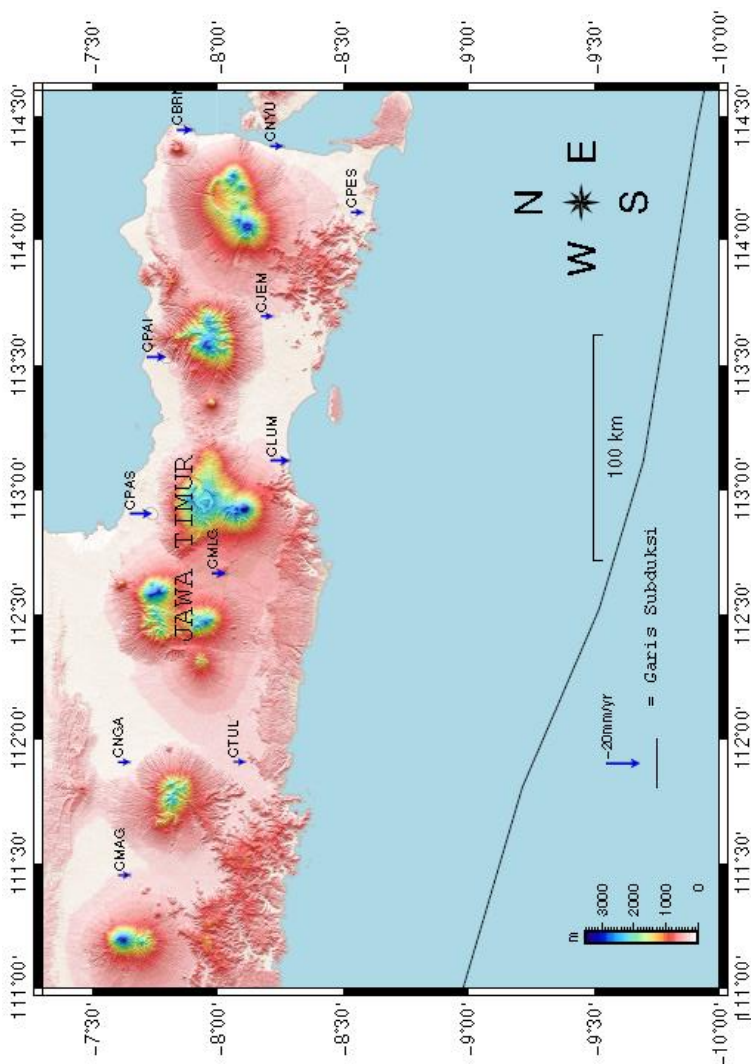
Kecepatan vertikal yang dihasilkan dalam pengolahan GLOBK karena pengolahan N, E dan U diolah secara bersamaan dalam proses GLOBK. Tabel 4.3 menunjukkan hasil perhitungan kecepatan vertikal dengan GLOBK

Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Kecepatan Vertikal

Titik Pengamatan	$V_u$ (mm/tahun)	$\sigma_u$ (mm/tahun)
CMAG	-0.79	0.24
CNGA	-0.85	0.53
CTUL	-7.19	0.45
CMLG	-14.05	0.79
CPAS	-1.17	1.35
CLUM	-1.39	0.36
CPAI	-1.42	0.28

CJEM	-0.65	0.28
CPES	-1.58	0.18
CBRN	-4.62	0.81
CNYU	-6.02	0.45

Kecepatan vertikal pada stasiun pengamatan memiliki nilai positif pada seluruh stasiun. Nilai kecepatan vertikal terbesar berada pada stasiun CMLG (Pasuruan) dengan nilai -14.05 mm/tahun.



Gambar 4. 4 Plot Kecepatan Horizontal dengan GMT

#### 4.4. Uji Statistik

Uji statistik dilakukan untuk melihat apakah kecepatan stasiun CORS yang di hasilkan dalam penelitian kali ini menyimpang jauh atau tidak dari data yang dikeluarkan oleh Badan Informasi Geospasial. Uji yang digunakan adalah perbandingan 2 data yakni data sampel (data pengolahan selama 4 tahun) dan data populasi (data pengolahan 10 tahun dari BIG). Banyaknya data sample yang digunakan adalah sample hasil pengolahan kecepatan pergeseran stasiun dari 4 tahun pengolahan ( $n=4$ ), serta taraf nyata ( $\alpha$ ) sebesar 5%, dengan  $H_0$  adalah “Hasil Pengolahan kecepatan stasiun pengamatan selama 4 tahun sama dengan kecepatan yang dihasilkan oleh Badan Informasi Geospasial yang di olah selama 10 tahun”, nilai kecepatan diterima apabila  $t_{hitung} < t_{tabel}$ . Variabel yang akan diuji adalah hasil kecepatan rata-rata dari pengolahan selama 4 tahun. Nilai batas dari tabel t yang digunakan dengan *degree of freedom* 3 adalah -3.1825 dan 3.1825. Kecepatan rata-rata dari hasil pengolahan selama 4 tahun ditunjukkan pada Tabel 4.4 dan untuk hasil kecepatan rata-rata milik BIG ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 4 Kecepatan Rata-Rata Hasil Pengolahan 4 Tahun

Pengolahan 4 tahun						
<b>TITI</b>	<b>Vn</b>	<b>Ve</b>	<b>Vu</b>	$\sigma_n$	$\sigma_e$	$\sigma_u$
<b>K</b>	<b>mm/tahun</b>	<b>mm/tahun</b>	<b>mm/tahun</b>	<b>mm/tahun</b>	<b>mm/tahun</b>	<b>mm/tahun</b>
CMA						
G	5.93	29.28	-0.79	0.06	0.07	0.47
CNG						
A	8.17	28.47	-0.85	0.34	0.16	0.13
CTU						
L	7.47	28.43	-1.19	0.05	0.10	0.62
CML						
G	7.49	27.43	-14.05	0.12	0.10	0.15
CPA						
S	4.28	26.58	-17.17	0.36	0.15	1.22
CLU	7.63	27.75	-12.39	0.06	0.05	0.76



M						
CPAI	6.93	27.39	-10.420	0.08	0.11	0.2
CJE						
M	5.95	26.79	-0.650	0.07	0.28	0.17
CPE						
S	5.82	27.85	-1.580	0.22	0.08	0.15
CBR						
N	7.61	27.61	-4.620	0.21	0.14	0.11
CNY						
U	5.31	27.57	-2.020	0.14	0.11	0.13

Table 4. 5 Data Kecepatan Pergeseran Stasiun CORS BIG

	<b>Vn</b>	<b>Ve</b>	<b>Vu</b>
<b>TITIK</b>	<b>mm/tahun</b>	<b>mm/tahun</b>	<b>mm/tahun</b>
CMAG	6.76	29.04	-3.62
CNGA	9.49	30.09	-1.24
CTUL	8.03	29.16	6.49
CMLG	8.03	29.75	-0.65
CPAS	5.62	27.21	-2.35
CLUM	8.14	28.33	-2.54
CPAI	7.25	28.09	-0.38
CJEM	6.68	27.36	-2.91
CPES	6.05	28.26	-1.74
CBRN	7.63	28.03	0.35
CNYU	5.63	27.52	-0.31

Table 4. 6 Uji Statistik T-Student Vn

	<b>Vu</b>	<b><math>\mu_u</math></b>	<b><math>\sigma_u</math></b>		
<b>TITIK</b>	<b>mm/thn</b>	<b>(mm/thn)</b>	<b>(mm/thn)</b>	<b>T</b>	<b>Keterangan</b>
CMAG	5.93	6.76	0.06	-2.73	DITERIMA
CNGA	8.17	12.49	0.34	-3.16	DITERIMA
CTUL	7.47	8.03	0.05	-1.81	DITERIMA
CMLG	7.49	8.03	0.12	-1.60	DITERIMA
CPAS	4.28	5.62	0.36	-2.94	DITERIMA
CLUM	7.63	8.14	0.06	-1.50	DITERIMA

CPAI	6.93	7.25	0.08	-0.99	DITERIMA
CJEM	5.95	6.68	0.07	-2.05	DITERIMA
CPES	5.82	6.05	0.22	-0.57	DITERIMA
CBRN	7.61	7.63	0.21	-0.04	DITERIMA
CNYU	5.31	5.63	0.14	-1.14	DITERIMA

Tabel 4.7. Uji Statistik T-*Student* Ve

TITIK	Vu mm/thn	$\mu_u$ (mm/thn)	$\sigma$ (mm/thn)	T	Keterangan
CMAG	29.28	29.04	0.07	1.71	DITERIMA
CNGA	28.47	32.09	0.16	-1.31	DITERIMA
CTUL	28.43	29.16	0.10	-3.65	DITERIMA
CMLG	27.43	29.75	0.10	-1.60	DITERIMA
CPAS	26.58	27.21	0.15	-2.10	DITERIMA
CLUM	27.75	28.33	0.05	-3.80	DITERIMA
CPAI	27.39	28.09	0.11	-3.18	DITERIMA
CJEM	26.79	27.36	0.28	-1.02	DITERIMA
CPES	27.85	28.26	0.08	-2.56	DITERIMA
CBRN	27.61	28.03	0.14	-1.50	DITERIMA
CNYU	27.57	27.52	0.11	0.23	DITERIMA

Table 4. 8 Uji Statistik T-*Student* Up

TITIK	Vu mm/thn	$\mu_u$ (mm/thn)	$\sigma_u$ (mm/thn)	T	Keterangan
CMAG	-0.79	-2.40	0.24	5.90	DITERIMA
CNGA	-0.85	0.30	0.53	0.37	DITERIMA
CTUL	-7.19	6.49	0.45	-2.53	DITERIMA
CMLG	-14.05	-6.00	0.79	-2.48	DITOLAK
CPAS	-1.17	-0.70	1.35	-2.49	DITERIMA
CLUM	-1.39	-0.80	0.36	-2.68	DITERIMA
CPAI	-1.42	-2.40	0.28	-1.93	DITERIMA
CJEM	-0.65	-0.60	0.28	4.04	DITERIMA
CPES	-1.58	-2.40	0.18	0.44	DITERIMA

CBRN	-4.62	0.30	0.81	-3.07	DITOLAK
CNYU	-6.02	-6.49	0.45	-1.90	DITERIMA

Dari hasil perhitungan uji statistik, seluruh nilai kecepatan  $V_n$  dan  $V_e$  dari hasil pengamatan 4 tahun dan hasil pengamatan BIG tidak mengalami perbedaan yang signifikan karena seluruh titik pengamatan Diterima uji t tabel, namun nilai kecepatan pergeseran vertikal titik pengamatan tidak Diterima pada stasiun CMLG dan CBRN, hal ini menarik karena terjadi perbedaan nilai kecepatan dari dua stasiun tersebut memungkinkan terjadinya pergerakan lempeng tektonik di area titik CMAG dan CJEM maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui apa yang menyebabkan nilai kecepatan dari dua pengamatan ini berbeda secara signifikan.

Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa hipotesis  $H_0$  dapat diterima, dengan kata lain “Hasil Pengolahan kecepatan stasiun pengamatan selama 4 tahun tidak berbeda secara signifikan dengan vector kecepatan dari data stasiun CORS Badan Informasi Geospasial” pada tingkat kepercayaan 95%

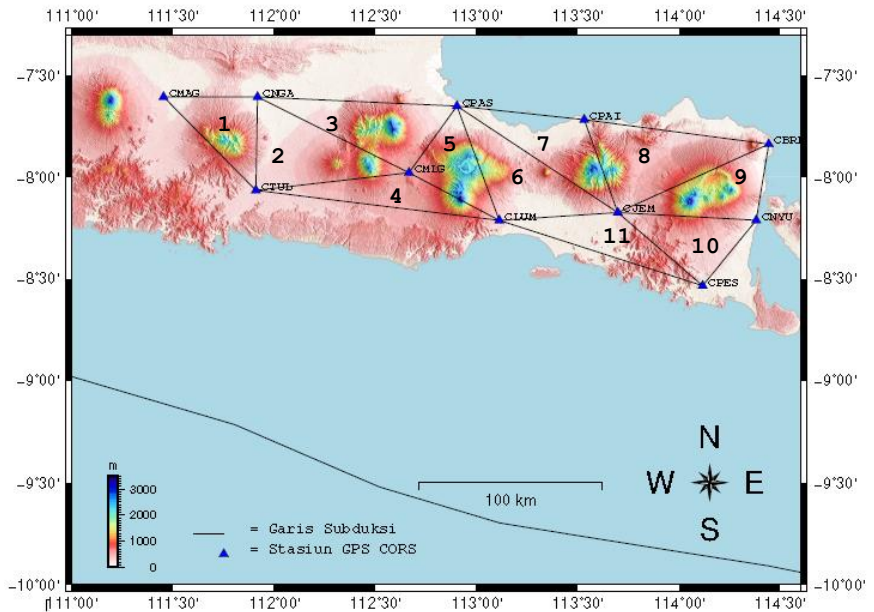
#### 4.5. Perhitungan Regangan

Hasil dari vektor kecepatan pergeseran dapat dibuat model regangan dengan membuat jaring segitiga yang menghubungkan antar titik dalam sebuah segmen, metode ini disebut dengan metode *delunay triangle*. Sebelum melakukan perhitungan dengan matlab, terlebih dahulu membuat segmen segitiga yang akan dihitung nilai regangannya. Dalam penelitian ini terdapat 11 segmen segitiga, berikut adalah pembagian segmen dari titik pengamatan ini:

Table 4. 9 Table Pembagian Segmen Segitiga

SEGME N	STASIUN		KOORDINAT		
1	CMAG-CNGA-CTUL	B	111.4528	111.9168	111.9086
		L	-7.6067	-7.6072	-8.0663
2	CNGA-CTUL-CMLG	B	111.9168	111.9086	112.6648
		L	-7.6072	-8.0663	-7.9796
3	CNGA-CMLG-CPAS	B	111.9168	112.6648	112.9014
		L	-7.6072	-7.9796	-7.6517
4	CTUL-CMLG-CLUM	B	111.9086	112.6648	113.1109
		L	-8.0663	-7.9796	-8.2139
5	CMLG-CPAS-CLUM	B	112.6648	112.9014	113.1109
		L	-7.9796	-7.6517	-8.2139
6	CPAS-CLUM-CJEM	B	112.9014	113.1109	113.6960
		L	-7.6517	-8.2139	-8.1754
7	CPAS-CJEM-CPAI	B	112.9014	113.6960	113.5304
		L	-7.6517	-8.1754	-7.7188
8	CPAI-CJEM-CBRN	B	113.5304	113.6960	114.4417
		L	-7.7188	-8.1754	-7.8390
9	CJEM-CBRN-CNYU	B	113.6960	114.4417	114.3793
		L	-8.1754	-7.8390	-8.2132
10	CJEM-CNYU-CPES	B	113.6960	114.3793	114.1152
		L	-8.1754	-8.2132	-8.5347
11	CLUM-CJEM-CPES	B	113.1109	113.6960	114.1152
		L	-8.2139	-8.1754	-8.5347

Sedangkan gambar berikut merupakan hasil plot segmen segitiga menggunakan GMT:



Gambar 4. 5 Segmen Segitiga Titik Pengamatan GPS CORS

Setelah dibuat segmen segitiga, maka dilakukan perhitungan awal dengan menggunakan data kecepatan menghasilkan parameter deformasi yang diperlihatkan dalam Tabel 4.6.

Table 4. 10 Nilai Parameter Deformasi Berdasar Segmen Segitiga

SEGMENT	STASIUN PENGAMATAN	$\epsilon_e$	$\epsilon_n$	$\epsilon_{ne}$
		( $\mu\text{strain}$ )	( $\mu\text{strain}$ )	( $\mu\text{strain}$ )
1	CMAG-CNGA-CTUL	-0.10	0.18	0.08
2	CNGA-CTUL-CMLG	-0.28	0.17	-0.14
3	CNGA-CMLG-CPAS	-0.86	0.19	0.06
4	CTUL-CMLG-CLUM	-0.04	-0.13	-0.07
5	CMLG-CPAS-CLUM	-0.74	-0.02	0.34
6	CPAS-CLUM-CJEM	-0.67	0.32	-0.18
7	CPAS-CJEM-CPAI	-0.17	0.03	0.01
8	CPAI-CJEM-CBRN	-0.16	0.06	-0.02
9	CJEM-CBRN-CNYU	-0.56	0.03	0.07
10	CJEM-CNYU-CPES	-0.11	0.72	0.63
11	CLUM-CJEM-CPES	0.13	-0.07	-0.13

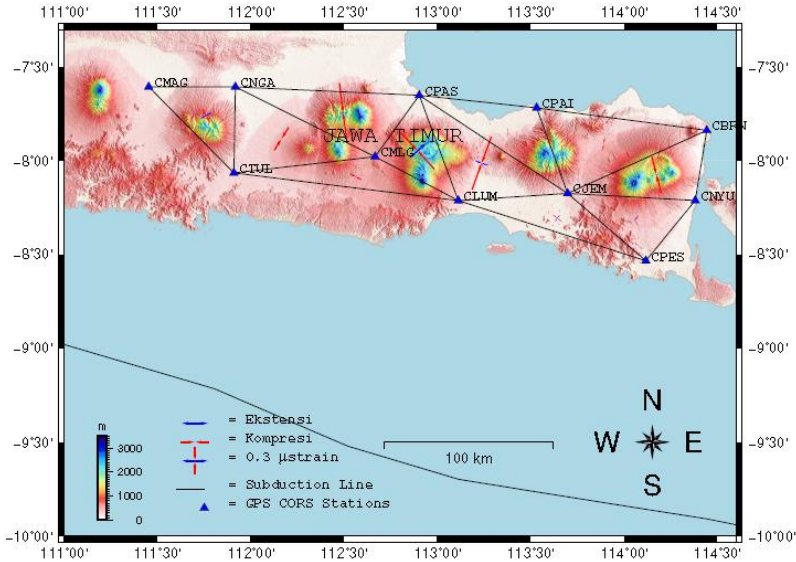
Dari perhitungan parameter pada tabel tersebut, dapat dihitung *Principal Strain*  $\epsilon_1$  dan  $\epsilon_2$  dari sebelas segmen segitiga yang telah dibuat sehingga dapat dimodelkan pola regangan yang terjadi pada wilayah penelitian, yaitu Jawa Timur Bagian Selatan. Pola regangan yang dihasilkan dipusatkan pada bagian tengah ketiga titik pengamatan yang membentuk segitiga untuk mewakili regangan di titik-titik sekitar wilayah pengamatan.

Tabel 4.6 merupakan hasil perhitungan nilai ekstensi ( $\epsilon_1$ ) dan kompresi ( $\epsilon_2$ ) beserta sudut yang dibentuk sebagai arah regangan ( $\theta$ ).

Table 4. 11 Nilai *Principal Strain* Berdasarkan Segmen Segitiga

No.	STASIUN PENGAMATAN	$\epsilon_1$ $\mu\text{strain}$	$\epsilon_2$ $\mu\text{strain}$	$\theta$
1	CMAG-CNGA-CTUL	-0.22	0.1936	-29.4997
2	CNGA-CTUL-CMLG	-0.40	-0.0256	32.30851
3	CNGA-CMLG-CPAS	-0.90	0.106	-7.29974
4	CTUL-CMLG-CLUM	-0.19	0.0706	-61.6455
5	CMLG-CPAS-CLUM	-0.74	0.3425	-42.6511
6	CPAS-CLUM-CJEM	-0.83	-0.199	20.06519
7	CPAS-CJEM-CPAI	-0.01	0.0142	-8.57669
8	CPAI-CJEM-CBRN	-0.18	0.0015	10.16231
9	CJEM-CBRN-CNYU	-0.56	0.0793	-14.5605
10	CJEM-CNYU-CPES	-0.0555	0.1073	-56.5385
11	CLUM-CJEM-CPES	-0.1512	0.1326	-52.3303

Gambar 4.5 merupakan plot regangan pada sebelas segmen segitiga melalui *software* GMT. Hasil regangan di plot pada satu titik berat yang merupakan rata-rata dari ketiga koordinat masing-masing titik dalam segmen segitiga, sehingga letaknya tepat berada di tengah-tengah segmen segitiga stasiun pengamatan. Terlihat pada gambar bahwa aktivitas regangan yang terjadi pada daerah pengamatan cukup variatif dengan adanya kompresi dan ekstensi di setiap segmen segitiga.



Gambar 4. 6 Plot Regangan Di Area Penelitian

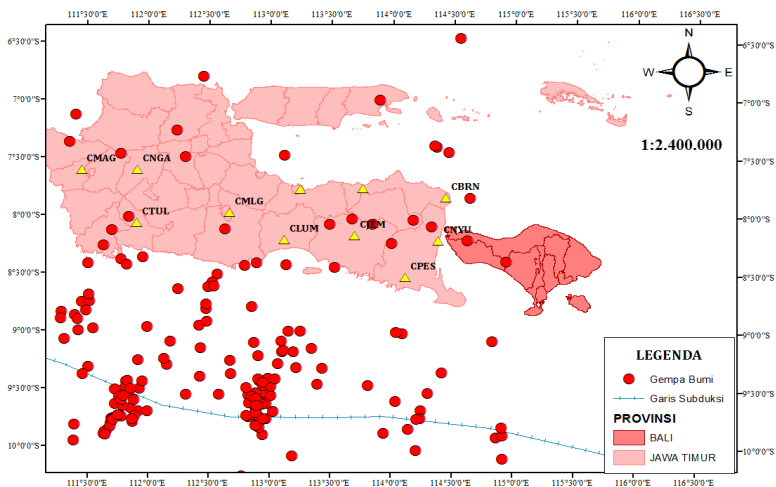
Nilai ekstensi terbesar di antara segmen segitiga stasiun pengamatan terdapat pada segmen 3 yaitu CNGA-CMLG-CPAS dengan nilai  $-0.9025 \mu\text{strain}$  sedangkan kompresi terbesar terdapat pada segmen 1 yaitu CMAG-CNGA-CTUL dengan nilai  $-0.1936 \mu\text{strain}$ . Segmen 7 yaitu CPAS-CJEM-CPAI memiliki nilai ekstensi paling kecil yaitu  $-0.0175 \mu\text{strain}$ , dan segmen 8 yaitu CPAI-CJEM-CBRN memiliki nilai komprei paling kecil dengan  $0.0015 \mu\text{strain}$ . Nilai kompresi menggambarkan bahwa pada daerah tersebut sedang terjadi pengumpulan energi yang nantinya energi tersebut akan dilepaskan sehingga terjadi ekstensi. Pelepasan energi yang terjadi dapat berupa gempa bumi atau deformasi. Rata-rata titik yang memiliki nilai kompresi besar adalah titik-titik yang berada di wilayah gunung berapi aktif seperti di segmen 3, 5, 6 dan 9.

#### 4.6. Analisis dengan Peta Geologi

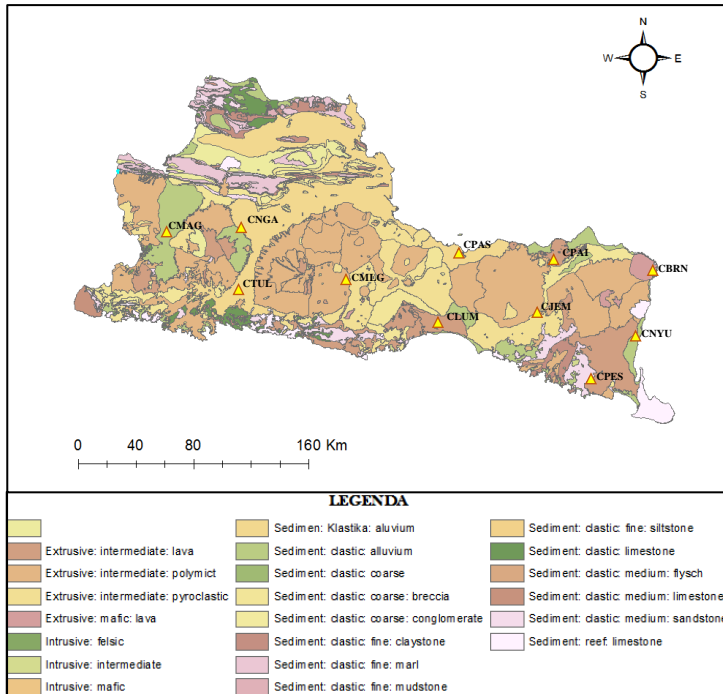
Wilayah Jawa Timur Bagian selatan merupakan daerah yang rawan akan terjadinya gempa bumi, hal ini dibuktikan dengan



data gempa dari USGS, sepanjang tahun 2015 hingga 2018 setidaknya terjadi 194 gempa dengan rentang magnitudo mW4 sampai 6 mengguncang Jawa Timur Bagian Selatan. Melihat Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa sebagian besar gempa bumi yang terjadi berpusat di laut. Semakin mendekati zona subduksi gempa bumi semakin sering terjadi dengan lokasi episentrum yang berdekatan. Sehingga penyebab dari gempa yang terjadi di Selatan Pulau Jawa merupakan gempa tektonik karena lokasi gempa berada di area zona subduksi yaitu antara pertemuan lempeng Indo-Australi dengan Lempeng Eurasia. Namun, selain dipengaruhi oleh aktivitas zona subduksi, deformasi di Jawa Timur Bagian Selatan ini sendiri bisa dipengaruhi oleh faktor-faktor lain, seperti jenis tanah di suatu titik.



Gambar 4. 7 Sebaran Gempa Bumi di Zona Subduksi Tahun 20015-2018  
(Sumber Data: USGS, 2018)



Gambar 4. 8 Peta Geologi Jawa Timur  
(Sumber Data: ESDM, 2015)

Pada Peta Geologi di Gambar 4.8 menunjukkan bahwa jenis tanah yang dimiliki Jawa Timur bagian selatan ini memiliki varietas tanah yang berbeda-beda, hal ini juga akan berpengaruh terhadap deformasi yang dialami oleh daerah tersebut. Di area ini terdapat banyak jenis tanah alluvium yang rentan akan terjadinya deformasi karena struktur tanahnya lemah. Deformasi yang terjadi di area ini juga akan dipengaruhi oleh aktivitas vulkanis, mengingat banyaknya aktivitas gunung api di Jawa Timur. Namun aktivitas vulkanik ini sendiri juga tidak lepas dari adanya aktivitas zona subduksi yang merupakan area bertemu nya *active megathrust*, oleh

karena itu terjadinya aktivitas tektonik, vulkanik dan deformasi akan selalu saling berkaitan akibat litosfer bumi yang tidak pernah diam sehingga akan terus menerus melakukan pergerakan dan akan memengaruhi satu dengan yang lainnya.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan pengolahan dan analisis data yang telah dilakukan, berikut adalah kesimpulan yang penulis dapatkan dalam penelitian tugas akhir ini:

1. Nilai Kecepatan Horizontal stasiun Pengamatan Ina-CORS memiliki nilai yang bervariasi. Nilai Kecepatan terbesar terdapat pada stasiun CMAG yang berada di Magetan dengan nilai kecepatan 29.28008 mm/tahun, sedangkan stasiun yang memiliki kecepatan horizontal terkecil adalah CPAS yang berada di Pasuruan dengan nilai kecepatan 26.58042 mm/tahun. Berikut adalah daftar nilai kecepatan horizontal stasiun pengamatan :
  - CNGA 28.47 mm/tahun ke arah tenggara
  - CTUL 28.43 mm/tahun ke arah tenggara
  - CMLG 27.43 mm/tahun ke arah tenggara
  - CLUM 27.75 mm/tahun ke arah tenggara
  - CPAI 27.39 mm/tahun ke arah tenggara
  - CJEM 26.79 mm/tahun ke arah tenggara
  - CPES 27.85 mm/tahun ke arah tenggara
  - CBRN 27.61 mm/tahun ke arah tenggara
  - CNYU 27.57 mm/tahun ke arah tenggara
2. Nilai Kecepatan vertikal seluruhnya memiliki nilai negatif. Nilai kecepatan terbesar adalah stasiun CMLG dengan kecepatan vertikal sebesar -14.05 mm/tahun. Adapun nilai kecepatan vertikal masing-masing stasiun yaitu
  - CMAG -0.79 mm/tahun
  - CNGA -0.85 mm/tahun
  - CTUL -7.19 mm/tahun
  - CMLG -14.05 mm/tahun
  - CPAS -1.17 mm/tahun
  - CLUM -1.39 mm/tahun
  - CPAI -1.42 mm/tahun
  - CJEM -0.65 mm/tahun

- CPES -1.58 mm/tahun
  - CBRN -4.62 mm/tahun
  - CNYU -6.02 mm/tahun
3. Arah pergeseran 11 stasiun memiliki vektor arah yang sama yaitu menuju ke tenggara. Walaupun dalam teori lempeng Indo-Australia dinyatakan menghujam lempeng Eurasia dengan kecepatan 70mm/tahun yang harusnya titik pengamatan mengalami *uplift* ini tidak terjadi pada titik-titik pengamatan GPS CORS di Selatan Jawa Timur, karena hampir semua stasiun mengalami gerak searah dengan gerak lempeng eurasia yang menandakan bahwa titik-titik di lokasi penelitian masih lebih banyak dipengaruhi oleh gerak Lempeng Eurasia.
  4. Nilai ekstensi terbesar di antara segmen segitiga stasiun pengamatan terdapat pada segmen 3 yaitu CNGA-CMLG-CPAS dengan nilai -0.90  $\mu$ strain sedangkan kompresi terbesar terdapat pada segmen 1 yaitu CMAG-CNGA-CTUL dengan nilai -0.19  $\mu$ strain. Segmen 7 yaitu CPAS-CJEM-CPAI memiliki nilai ekstensi paling kecil yaitu -0.0175  $\mu$ strain, dan segmen 8 yaitu CPAI-CJEM-CBRN memiliki nilai komprei paling kecil dengan 0.0015  $\mu$ strain. Pelepasan energi yang terjadi dapat berupa gempa bumi atau deformasi. Rata-rata titik yang memiliki nilai kompresi besar adalah titik-titik yang berada di wilayah gunung berapi aktif seperti di segmen 3 yaitu CNGA-CMLG-CPAS, 5 yaitu CMLG-LUM-CPAS, 6 yaitu CPAS-CLUM-CJEM dan 9 yaitu CJEM-NYU-CBRN dimana di dalam lingkup segmen-segmen tersebut .banyak terdapat gunung api aktif yang menyebabkan terjadinya banyak kompresi atau pengumpulan energi yang juga dipengaruhi oleh aktivitas zona subduksi *Java Trench*.
  5. Gempa bumi yang terjadi di area subduksi merupakan gempa yang disebabkan oleh aktivitas tektonik akibat pergerakan lempeng. Adanya aktivitas tektonik dan

vulkanik akan saling berkaitan karena aktivitas dari gunung api juga merupakan akibat dari adanya gerak-gerak lempeng yang mengakibatkan adanya pengumpulan dan pelepasan energi yang dapat keluar dalam wujud gempa bumi atau adanya peningkatan aktivitas gunung api dalam satu periode waktu tertentu.

## 5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan berdasarkan proses dan hasil penelitian adalah sebagai berikut:

1. Memastikan titik ikat IGS yang digunakan memiliki data full atau sesuai dengan doy pengamatan.
2. Dianjurkan menggunakan data pembanding untuk hasil pengolahan supaya dapat dilakukan perbandingan hasil data kecepatan pergeseran titik.
3. Dianjurkan untuk memakai komputer yang memiliki spec tinggi supaya dalam proses GAMIT, komputer tidak mati.
4. Disaran kan melakukan analisis deformasi dengan 2 metode GAMIT dan *software* lain dengan data supaya hasil dari pengolahan bisa dibandingkan dan dilihat selisih nilai nya.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. (2006). *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Jakarta: PT. Pradya Paramita.
- Abidin, H. Z., Andreas, H., Meilano, I., Gamal, M., Gumilar, I., & Abdullah, C. I. (2009). Deformasi Koseismik dan Pascaseismik Gempa Yogyakarta 2006 dari Hasil Survei GPS. *Jurnal Geologi Indonesia*, 275-284.
- Abidin, H.Z., Wijanarto, Antonius B. 2019. *Ina-CORS BIG Satu referensi Pemetaan Indonesia*. Cibinong. Badan Informasi Geospasial
- Andriyani, G. (2012). *Regangan Selat Bali Berdasarkan Data GNSS Kontinu Tahun 2009-2011*. Semarang: Teknik Geodesi Universitas Diponegoro.
- Bemmelen Van, R.W. 1949. *Bulletin of Volcanologique - Report on The Volcanic Activity Volcanological Research in Indonesia During The Period 1936 – 1948 vol 9 pp 3-29. The Netherland Indies Volcanological Survey, The Netherlands*
- Blewitt, Geoffrey. 1997. *Basic of The GPS Techninwue : Observation Equations*. University of Newcastle. Swedish Land Survey
- Caspary, W. F. (1987). *Concepts of Network and Deformation*.
- El-Rabbany, A. 2002. *Introduction to GPS: Global Positioning System*. Massachusetts: Artech House.
- Frisch, Wolfgang, dkk. 2010. *Plate Tectonics: Continental Drift and Mountain Building*. German: Springer.
- Gunawan E, Widiyantoro S. 2019. Active tectonic deformation in Java, Indonesia inferred from a GPS-derived strain rate, *Journal of Geodynamics* <https://doi.org/10.1016/j.jog.2019.01.004>
- Hadi, L.A. (2016). *Analisa Defomasi di Wilayah Jawa Tengah Bagian Selatan Menggunakan Data GPS CORS Tahun 2013-2015*. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Hall, R., & Wilson, M. (2000). Neogene Sutures in Eastern Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences* 18, 781-808.
- Hamilton, W. (1979). *Tectonic of the Indonesian Region*. U.S Geol. Survey, Prof. Paper, 1078,. Washington.
- Herring, T., King, R., & McClusky, S. (2000). *Introducion to GAMIT/GLOBK*. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Science, Massachusetts Institute of Technology. ITRF. *Science background - General Concept*. Retrieved from International Terrestrial Reference Frame (ITRF): <http://itrf.ensg.ign.fr>. Diakses Pada Tanggal 20 Juni 2016
- Kaplan, E. D., & Hegarty, C. J. (2006). *Understanding GPS* (2nd ed.). London: Artech House. Kearey, P., & J. V. Frederick. (1990). *Global Tectonic*. Blackwell Scientific Publications Oxford I, (pp. 1-302).
- Kearey, P., & J.V Frederick. (1990). *Global Tectonic*. Blackwell Scientific Publications Oxford I.
- Kensington, Australia: University of New South Wales.
- Ghilani, D. C., & Wolf, R. P. (2006). *Adjustment Computations Spatial Analysis*. Madison : John Wiley & Sons Inc.
- Hamilton, W. 1979. *Tectonics of Indonesian Region*. U.S Geology Survey. Paper, 1078, Washington, 345 pp.
- King, R., & Y. Bock. (2002). *The GAMIT GPS Analysis Software v10.0 Internal Memorandum*. Cambridge: MI
- Kuang, S. (1996). *Geodetic Network Analysis and Optimal Design: Conept and Application*. Chelsea,, Michigan: Ann Arbor Press, Inc
- Kurniawan, A. 2011. *Evaluasi Penurunan Muka Tanah Di Wiliayah Kota Surabaya dari Data Pengamatan Global Positioning System dengan GAMIT/GLOBK*. Surabaya: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Muafiry, I.N. (2015). *Analisis Deformasi Akibat Gempa Bumi Kepulauan Mentawai Menggunakan Pengamatan GPS Kontinu (Studi Kasus : Gempa Mentawai Tahun 2008)*. Surabaya: Tugas Akhir Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

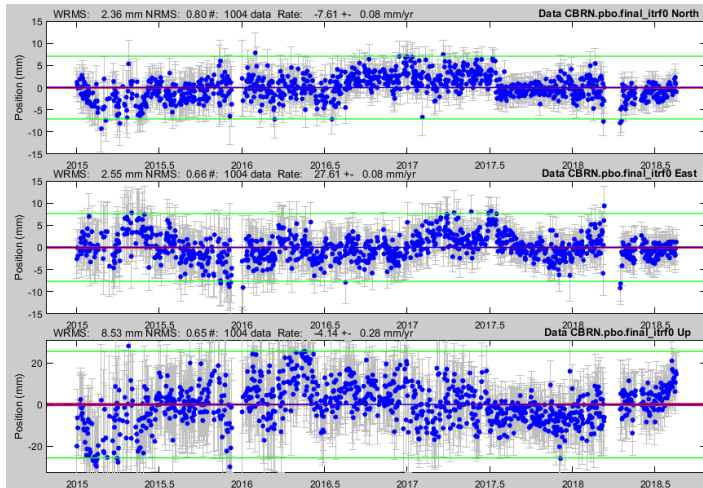
- R. E. Myers, R. H. & Walpole, *Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan*. Bandung: Institut Teknologi Bandung, 1995.
- Rusmen, M. R. (2012). *Analisis Deformasi Gempa Mentawai Tahun 2010 Berdasarkan Data*. *Jurnal Geofisika Vol.13No.2*, 42-51
- S. C. King, R. W., Herring, T. A., McClusky. 2010. *GAMIT Reference Manual, Release*. Massachusetts Institute of Technology.
- Seeber, G. (2003). *Satellite Geodesy*. Hannover: Walter de Gruyter GmbH & Co. KG.
- Singh, S. J. & Mal, A. K. 1991. *Deformation of Elastic Solids. 1st penyunt*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Tim Pusat Studi Gempa Nasional. 2017. *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Bandung: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan rakyat
- USGS. *USGS Eathquake Hazard Program*. Retrieved from earthquake.usgs.gov <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/?source=sitenav>. Diakses pada tanggal 13 April 2019
- Wessel, P., Smith, W.H.F., Scharnoo, R., Luls, J., Wobbe, F. (2018). *The Generic Mapping Tools GMT API Documentation*. *SOEST: University of Hawaii at Manoa*
- Whittaker and Reddish. 1989. *Faktor-Faktor Penyebab Penurunan Muka Tanah (Land Subsidence)*.
- Zheng, YF., Chen, YX. 2016. *Continental versus oceanic subduction zones*. *National Science Review*. 3: 495–51

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

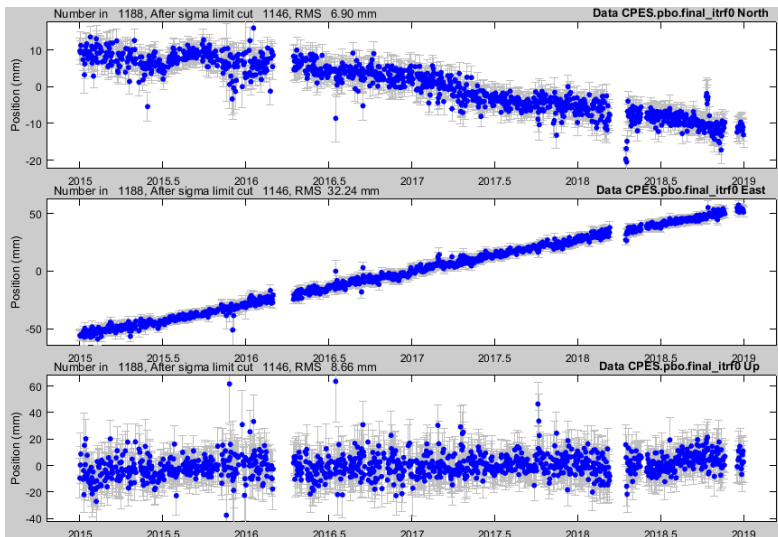
## LAMPIRAN

### Lampiran 1.

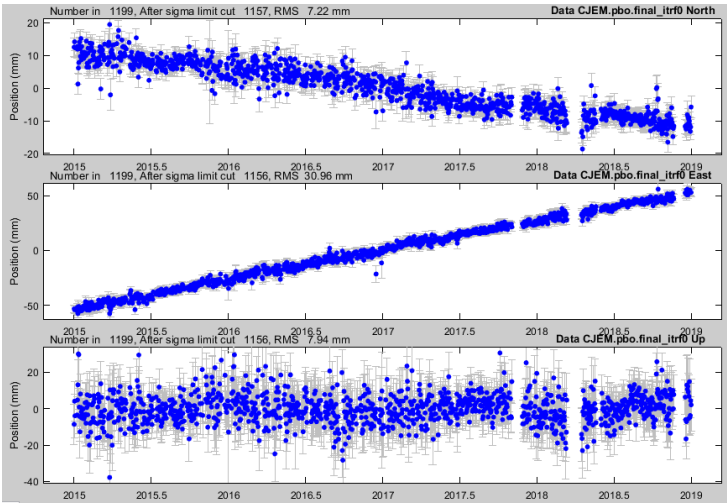
#### *Time series CBRN*



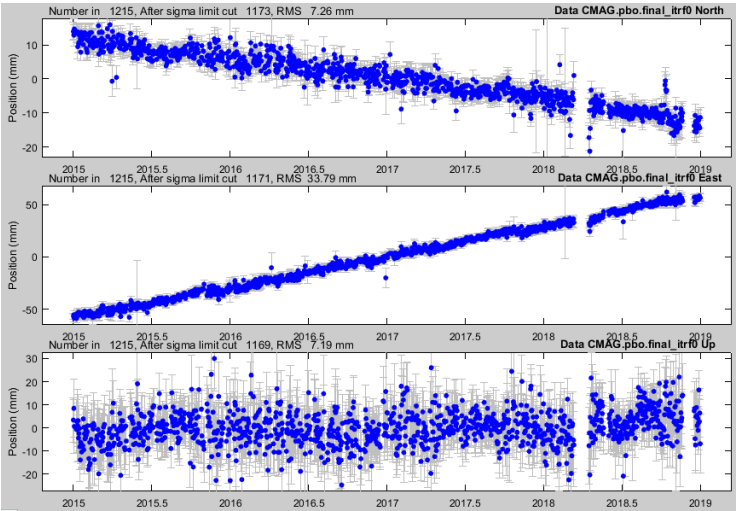
#### *Time series CPES*



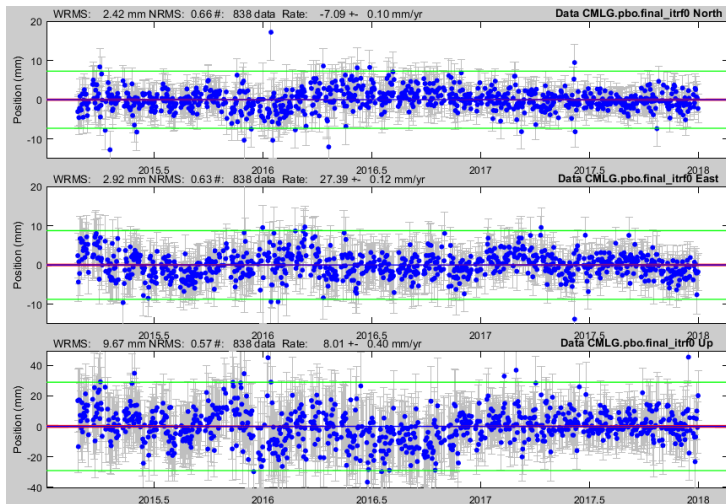
Time Series CJEM



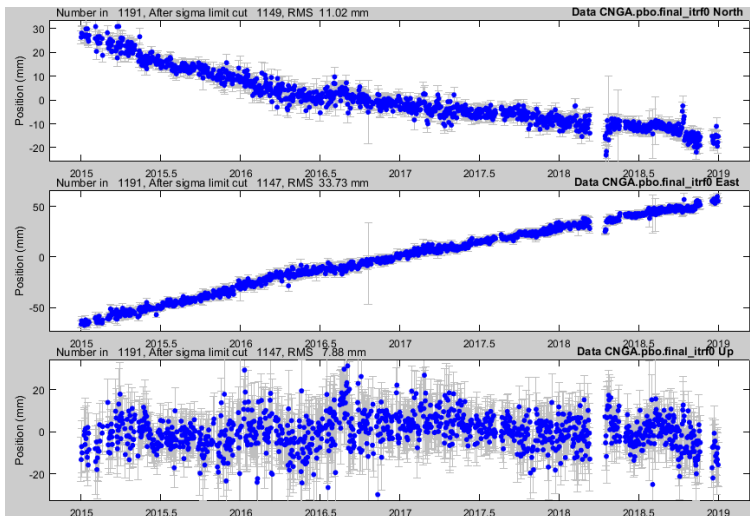
Time Series CMAG



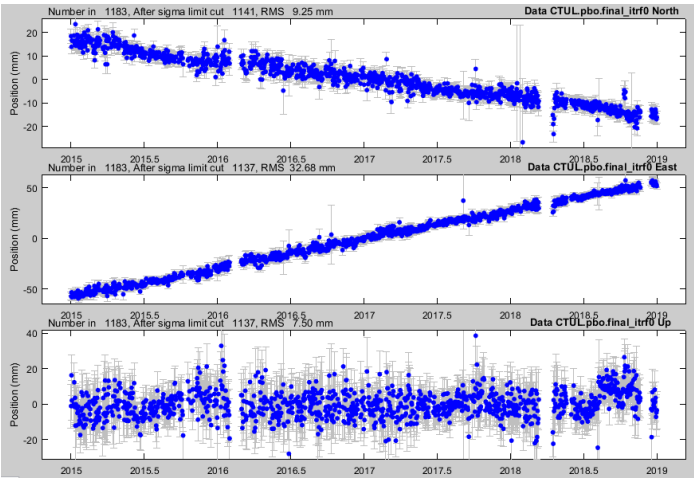
## Time Series CMLG



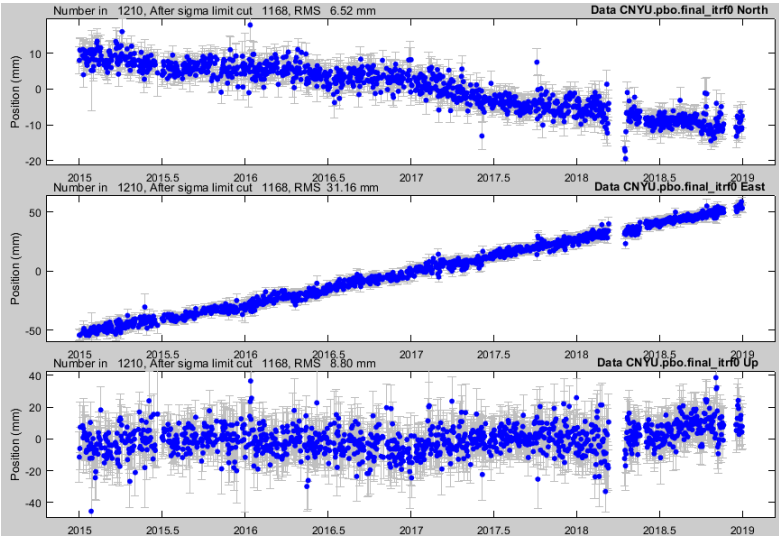
## Time Series CNGA



Time Series CTUL

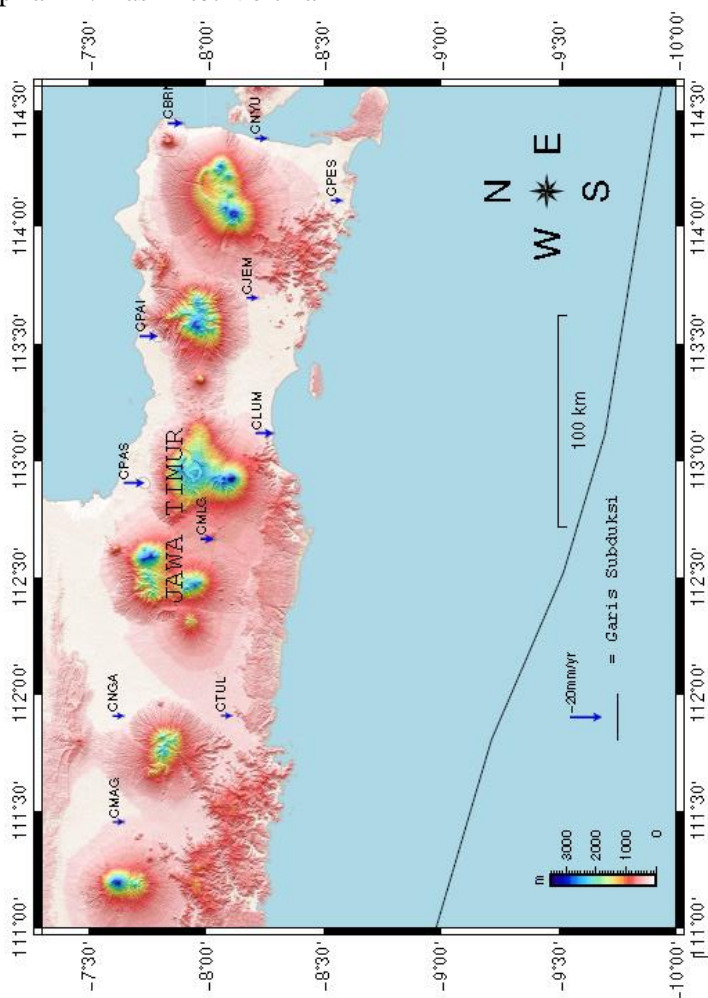


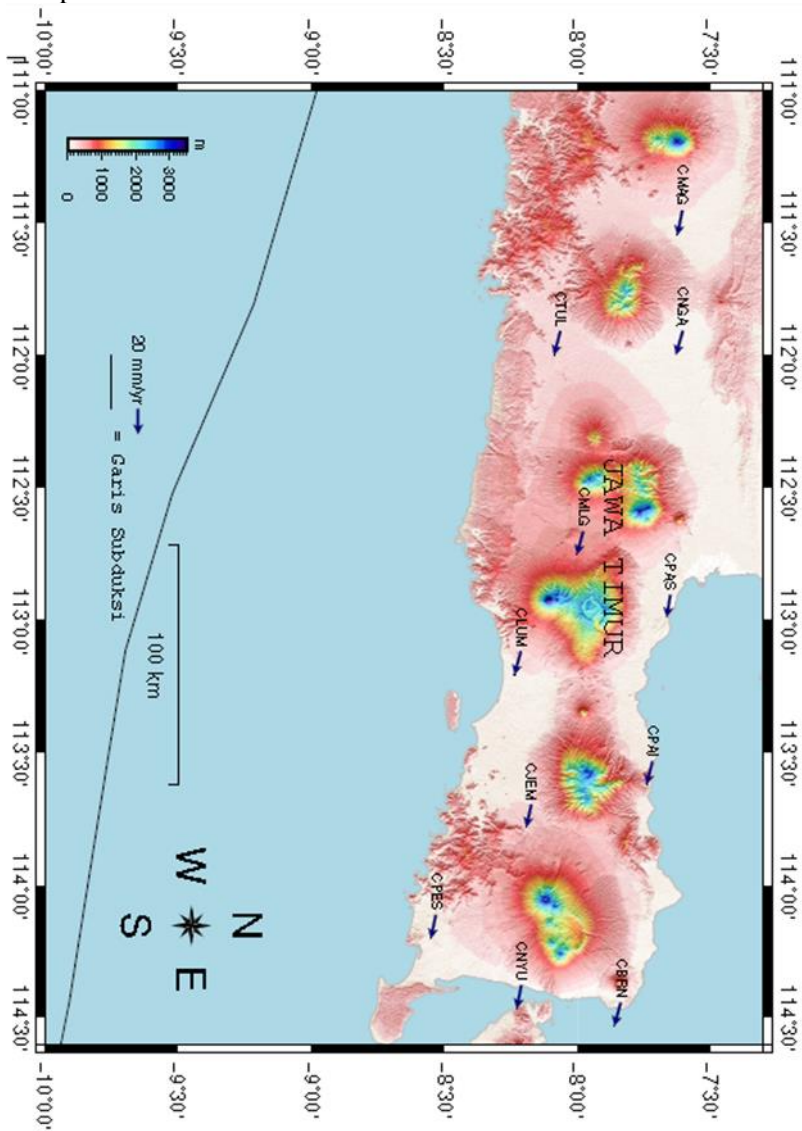
Time Series CNYU



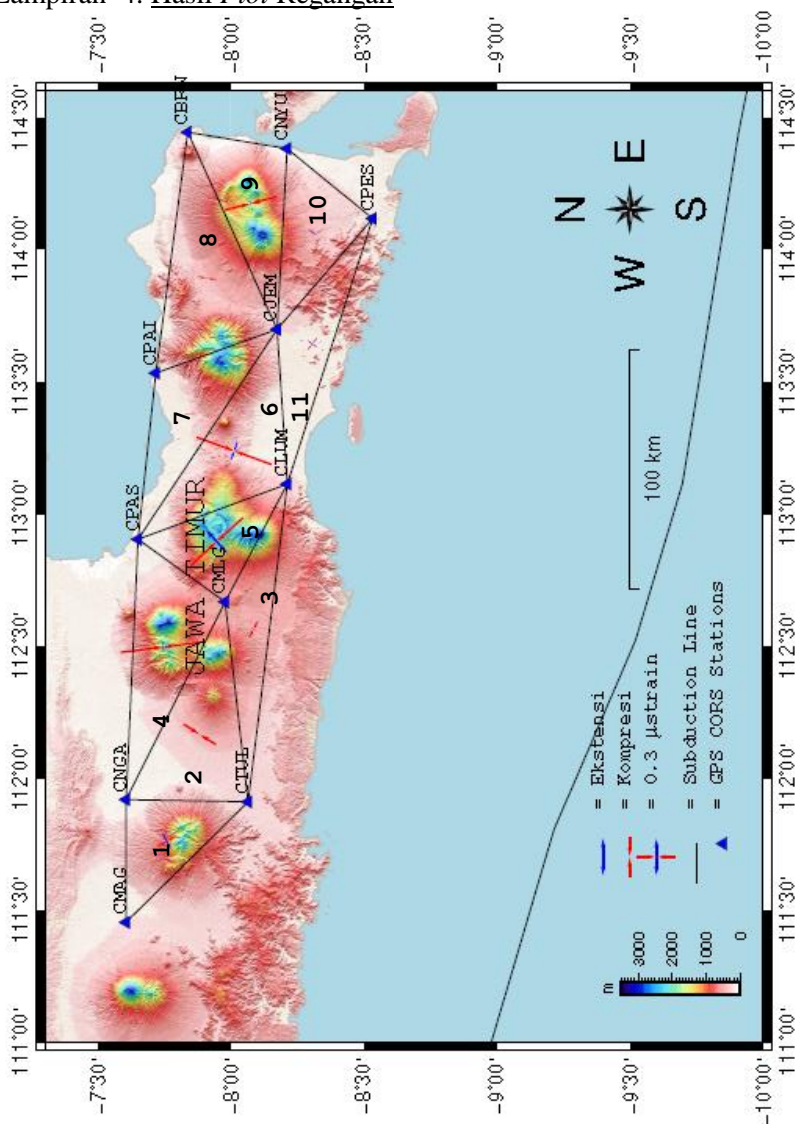


## Lampiran 2. Hasil *Plot* Vertikal



Lampiran 3. Hasil *Plot Horizontal*

# Lampiran 4. Hasil *Plot* Regangan



## Lampiran 5. *Control File* GAMIT/GLOBK

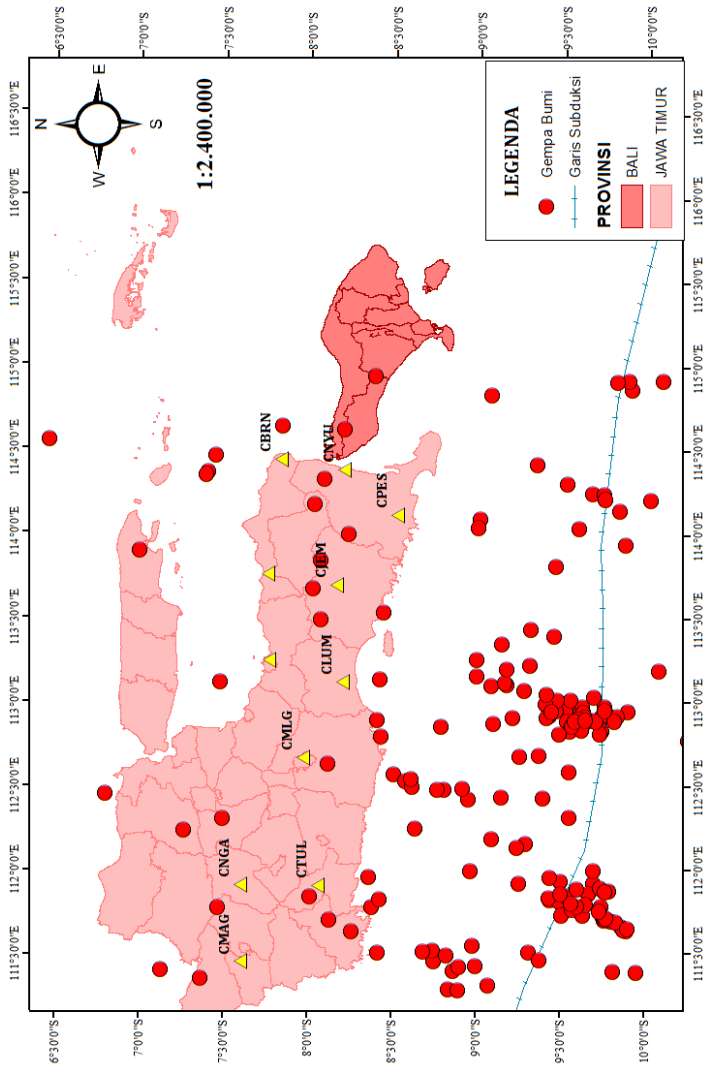
```
# Format: site expt keyword1 keyword2 ....
#
# where the first token is the 4- or 8-character site name (GAMIT uses only
# 4 characters, GLOBK allows only 4 unless there are earthquakes or renames),
# the second token is the 4-character experiment name, and the remaining
# tokens, read free-format, indicate how the site is to be used in the processing.
# All sites for which there are RINEX files in the local directory will be used
# automatically and do not need to be listed.
#
# ftpnrn = sites to ftp from rinex data archives.
# ftpraw = sites to ftp from raw data archives.
# localrx = site names used to search for rinex files on your local system.
#          (required in conjunction with rxmnd path variable set in process.defaults).
# xstinfo = sites to exclude from automatic station.info updating.
# xsite   = sites to exclude from processing, all days or specified days
#
# Replace 'expt' with your experiment name and edit the following to list sites needed from external archive
all_sites expt xstinfo
alra_gps 2018 localrx xtinfo
alic_gps 2018 localrx xtinfo
bako_gps 2018 localrx xtinfo
coco_gps 2018 localrx xtinfo
darw_gps 2018 localrx xtinfo
guam_gps 2018 localrx xtinfo
ilsc_gps 2018 localrx xtinfo
jog2_gps 2018 localrx xtinfo
karr_gps 2018 localrx xtinfo
kat1_gps 2018 localrx xtinfo
mroi_gps 2018 localrx xtinfo
naur_gps 2018 localrx xtinfo
pimo_gps 2018 localrx xtinfo
solo_gps 2018 localrx xtinfo
tow2_gps 2018 localrx xtinfo
xmls_gps 2018 localrx xtinfo
yar2_gps 2018 localrx xtinfo
# templates for removing sites
.....

# Raw data archive
# set rawarchive = 'chandler.mit.edu'
# set rawdir = 'pub/continuous/mitnet'
# set rawlogin = 'anonymous:slmon@chandler.mit.edu'
# Addresses for CDDSI, SOPAC, IGSB, UNAVCO, BKG, IGN, USNO are given in template/ftp_info

##GAMIT
# Set sampling interval, number of epochs, and start time for processing
set sint = '30'
set nepc = '2880'
set stime = '0 0'
# Variables for updating tables
set stinf_unique = "-u"
set stinf_nosort = "-nosort"
set stinf_slthgt = "2.00"
# Set "Y" to use RINEX header coordinates not in lfile or apr file
set use_rxc = "N"
# Broadcast orbits
set brdc = 'brdc'
# Minimum x-file size to be processed (Def. 300 blocks; most OS use 1 Kb blocks)
set minxf = '50'
# Set search window for RINEX files which might contain data for day - default check the previous day
set rx_doy_plus = 0
set rx_doy_minus = 1
# Default globk .apr file
set aprf = lgs14_comb.apr
# Set compress (copts), delete (dopts) and archive (aopts) options. (Don't forget to set the archivepth.)
# Possible d-, c-, and a- opts: D, H, ao, ac, as, b, c, d, e, g, h, i, j, k, l, m, o, p, q, t, x, ps, all
set dopts = ( c )
set copts = ( x k ao )
set aopts = ''
# Set the rinex ftp archives (defined in ftp_info) you would like to look for data in.
# (Default archives searched are: sopac, cddis and unavco).
set rinex_ftpsites = (cddis sopac unavco)

## RESOURCES
# Minimum raw disk space in Mbytes
set minraw = '100'
```

# Lampiran 6. Sebaran Gempa di Jawa Timur Tahun 2015-2018





## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Banyuwangi 24 Mei 1997, bungsu dari dua bersaudari, putri dari bapak Kundori dan Ibu Sri Wahyuni. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Bustanul Alfa 2 Genteng, SDN 2 Genteng, SMPN 1 Genteng, dan SMAN 1 Genteng dan lulus pada tahun 2015. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan di Departemen Teknik Geomatika melalui jalur SNMPTN. Pada masa perkuliahan penulis diamanahi menjadi, Sekretaris HIMAGE-ITS selama dua periode, dan penulis aktif mengikuti kegiatan mahasiswa baik sebagai paniti maupun peserta di lingkung jurusan dan institut. Selain itu penulis juga aktif mengikuti keterampilan manajemen mahasiswa dan juga berbagai pelatihan seperti LKMM Pra-TD, LKMW TD. Penulis pernah mengikuti kegiatan Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) tahun 2016 dan 2017 dan didanai KEMENRISTEKDIKTI di ke dua tahun anggaran tersebut. Penulis pernah mengikuti kegiatan kerja praktek/magang di Badan Informasi Geospasial di Bogor selama satu bulan. Dalam penyelesaian syarat Tugas Akhir, penulis memilih bidang keahlian Deformasi, dengan Judul Tugas Akhir “Analisis Hubungan Deformasi di Jawa Timur Bagian Selatan dengan Aktivitas Zona Subduksi *Java Trench* Menggunakan Data GPS CORS Tahun 2015-2018”. Jika ingin menghubungi penulis dapat mengirim email pada [emma.vio1997@gmail.com](mailto:emma.vio1997@gmail.com).